

Mikko Lehto

## PAINOVOIMAISEN ILMANVAIHDON SUUNNITTELUOHJEET HIRSITALOON

# PAINOVOIMAISEN ILMANVAIHDON SUUNNITTELUOHJEET HIRSITALOON

Mikko Lehto  
Opinnäytetyö  
Kevät 2020  
Talotekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Tutkinto-ohjelma, Talotekniikka

Tekijä: Mikko Lehto

Opinnäytetyön nimi: Painovoimaisen ilmanvaihdon suunnitteluohjeet hirsitaloon

Työn ohjaaja: Tomi Jäävirta

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: 05/2020

Sivumäärä: 54 + 1 liite

---

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Kontiotuote Oy, joka kuuluu PRT-Forest-konserniin. Kontiotuotteen tehdas ja pääkonttori sijaitsevat Pudasjärvellä. Suunnittelutoimisto on Oulussa ja konsernin emoyhtiö sijaitsee Pyhännällä.

Työn tavoitteena on laatia hirsitalomyyjille ja asiakkaille ohjeistus, miten painovoimainen ilmanvaihto voidaan toteuttaa hirsitalossa. Ohjeessa kerrotaan mitä asioita ja määräyksiä painovoimaisen ilmanvaihdon suunnittelussa pitää ottaa huomioon.

Opinnäytetyössä esitetään painovoimaisen ilmanvaihdon teoriaa ja laskelmissa käytetyt kaavat. Painovoimaisen ilmanvaihdon mitoitus tehtiin Painovoimainen ilmanvaihto -oppaan ja ilmanvaihtoasetuksen pohjalta. Lisäksi mallinnettiin hirsitalon painovoimaisen ilmanvaihdon toimivuutta IDA ICE -ohjelmalla.

Opinnäytetyössä todettiin, että hirsitalo voidaan toteuttaa painovoimaisella ilmanvaihdolla, kun rakennuspaikka täyttää tietyt vaatimukset. Lisäksi laadittiin painovoimaisen ilmanvaihdon suunnitteluohjeet myyjien ja asiakkaiden avuksi, jotta he tietävät, millä edellytyksillä hirsitalo voidaan toteuttaa painovoimaisella ilmanvaihdolla.

---

Asiasanat: painovoimainen ilmanvaihto, hirsitalo, ilmanvaihtoasetus, energiatehokkuus, paine-ero, IDA ICE -ohjelmisto

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences

Author: Mikko Lehto

Title of thesis: Guide for Planning Natural Ventilation for Log House

Supervisor(s): Tomi Jäävirta

Term and year when the thesis was submitted: 05/2020  
appendice

Number of pages: 54 pages + 1

The commissioner of this thesis is Kontiotuote Oy, which is part of PRT-Forest corporation. The head office and factory are situated in Pudasjärvi. The planning department is situated in Oulu and the head company is in Pyhäntä.

The goal of this thesis is to make a guide about natural ventilation for sellers and clients. This guide will help them to construct natural ventilation system in log house and understand which factors need to be taken into account.

This thesis introduces the theory of natural ventilation and the formulas used in the calculations. The sizing of natural ventilation was made by using Natular Ventilation Guide and ventilation decrees. Additionally, in this thesis the operation of natural ventilation is modelled with the IDA-ICE software.

The conclusion of this thesis is that a log house can be build using the natural ventilation system, if the location of the building is suitable. Additionally, the guide also provides help for sellers and clients by giving information about what is needed if they want to build a log house with natural ventilation system.

---

Keywords: natural ventilation, loghouse, energy efficiency, the pressure differential, IDA ICE – Simulation Software

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
SISÄLLYS.....	5
1 JOHDANTO .....	7
2 PAINOVOIMAINEN ILMANVAIHTO .....	8
2.1 Toiminta.....	8
2.2 Painovoimainen ilmanvaihto ennen ja nyt .....	9
2.3 Hormivaikutus .....	10
2.3.1 Hormivaikutuksen laskenta .....	11
2.3.2 Poistohormin painehäviön laskenta .....	12
2.4 Ilmanvaihdon tehostus tuulettamalla .....	17
3 PAINOVOIMAISEN ILMANVAIHDON ERITYISPIIRTEET .....	19
3.1 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017 .....	19
3.2 Määräystenmukaisuuden osoittaminen .....	20
3.3 Painovoimaisen ilmanvaihdon haasteita .....	21
4 ENERGIATALOUDELLISUUS PAINOVOIMAISESSA ILMANVAIHDOSSA.....	22
4.1 Rakenteet.....	22
4.2 Energiaselvitys.....	23
4.3 Lämpöhäviöiden tasauslaskelma.....	25
5 JÄRJESTELMÄ .....	28
5.1 Ulkoilmalaitteet.....	28
5.2 Siirto- ja poistoilmalaitteet .....	30

5.3	Hormisto.....	31
5.4	Vedonparantajat.....	32
5.5	Säädettävyys.....	33
5.6	Ilman suodatus.....	34
5.7	Ääniolosuhteet .....	36
5.8	Kesäajan tilanne .....	37
5.9	Suunnittelu ja mitoitus .....	37
5.10	Mitoitustaulukot .....	38
6	ESIMERKKIKOHDE .....	41
6.1	Järjestelmämitoitus.....	41
6.2	Mallinnus IDA ICE -ohjelmalla.....	44
6.3	Simuloinnin tulokset.....	47
7	YHTEENVETO .....	51
	LÄHTEET.....	52
	LIITTEET .....	

# 1 JOHDANTO

Hirren suosio omakotitalojen rakennusmateriaalina on noussut viime vuosina. Hirren suosiota selittävät hirsitalojen hyväksi mielletty sisäilmanlaatu ja ympäristöystävällinen rakennusmateriaali. Kotimaan kuluttaja-asiakkaat ovat hyvin ympäristötietoisia ja ovat siitä syystä valinneet rakennusmateriaaliksi ekologisen hirren. Osa omakotitaloasiakkaista haluaa rakentaa perinteisen hirsitalon, jossa on painovoimainen ilmanvaihto. Ympäristöministeriö on laatinut painovoimaisen ilmanvaihdon suunnittelusta ohjeen PVIV-opas eli painovoimaisen ilmanvaihdon suunnitteluopas. Opas on julkaistu 1.5.2018.

Tässä opinnäytetyössä selvitetään, miten painovoimainen ilmanvaihto voidaan toteuttaa hirsitalossa. Selvitys tehdään Painovoimainen ilmanvaihto -oppaan ja ilmanvaihtoasetuksen pohjalta. Lisäksi mallinnetaan hirsitalon painovoimaisen ilmanvaihdon toimivuutta IDA ICE -ohjelmalla. Selvityksen pohjalta laaditaan työn tilaajalle erillinen ohjeistus, painovoimaisen ilmanvaihdon suunnitteluohjeet hirsitaloon. Painovoimaisen ilmanvaihdon suunnittelijoita on vähän, koska sitä ei ollut vielä mahdollista toteuttaa uudisrakennuksiin energiamääräysten vuoksi.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on vuonna 1972 perustettu Kontiotuote Oy. Se kuuluu PRT-Forest-konserniin, jonka pääkonttori sijaitsee Pyhännällä. Konsernin päätoimialoja ovat mekaaninen puu- ja rakennustarviketeollisuus sekä pientaloteollisuus. Kontiotuote Oy työllistää reilut kaksisataa työntekijää. Kontion liikevaihto vuonna 2018 oli 55,6 miljoonaa euroa, josta viennin osuus oli noin 28 prosenttia. Kontio toimittaa Suomen lisäksi rakennuksia vuosittain noin 30 eri maahan. Tärkeimmät vientimaat ovat Venäjä, Ranska ja Japani. (1).

Kontion hirsitaloja, hirsihuviloita, saunoja ja muita rakennuksia valmistetaan tukista valmiiksi lopputuotteeksi Kontion omalla tehtaalla Pudasjärvellä. Kontio on tuottanut 45 vuoden aikana yli 50 000 hirsirakennusta ympäri maailman. Vuonna 2019 Kontio toimitti noin 1500 hirsirakennusta. Kontio-hirsitalot valmistetaan eurooppalaisen teknisen hyväksynnän (ETA-05/0119) mukaan, mikä mahdollistaa CE-merkinnän. (1.)

## 2 PAINOVOIMAINEN ILMANVAIHTO

Tässä luvussa kerrotaan painovoimaisen ilmanvaihdon periaatteita ja esitetään kaavat, joiden avulla painovoimaisen ilmanvaihdon toimivuus voidaan todeta laskemalla.

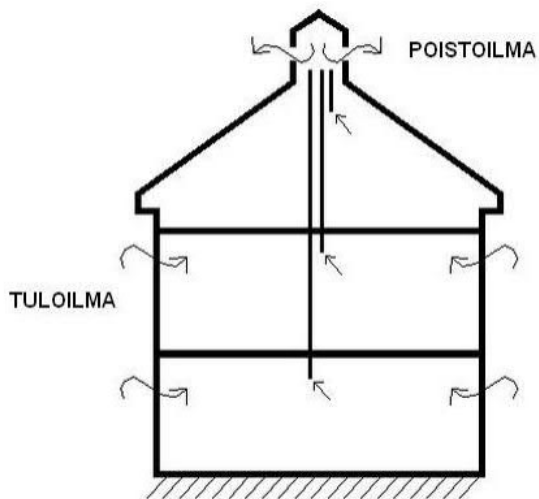
### 2.1 Toiminta

Painovoimaisen ilmanvaihdon toiminta perustuu sisä- ja ulkolämpötilaeroista syntyneisiin ilmantiheyseroihin sekä tuulen vaikutukseen. Ulkoilman lämpötilan ja kosteuden vaihtelun takia painovoimaisen ilmanvaihdon ilmavirrat vaihtelevat. Ilmavirtaukseen voidaan vaikuttaa esimerkiksi hormin korkeudella ja muuttamalla hormissa virtaavan ilman lämpötilaa tai poistohormin virtausvastusta. Käytännössä säätö tapahtuu tulo- tai poistoilmaventtiileitä säätämällä. Painovoimaista ilmanvaihtoa voidaan tehostaa ikkunatuuletuksella. (2, s. 209.)

Samassa rakennuksessa voidaan käyttää sekä koneellista ilmanvaihtoa että painovoimaista ilmanvaihtoa, mikäli ne toimivat eri ilmanvaihdon palvelualueilla. Painovoimaiseen ilmanvaihtojärjestelmään voidaan asentaa erillisen ohjauksen mukaan toimiva puhallin ilmavirran tehostamista varten. Tällaista järjestelmää kutsutaan puhallinavusteiseksi painovoimaiseksi ilmanvaihtojärjestelmäksi. Puhallinavusteista ilmanvaihtoa sekä kahden järjestelmän yhdistelmää kutsutaan hybridi-ilmanvaihdoksi. Määräysteknillisesti niitä käsitellään painovoimaisena ilmanvaihtona. (3, s. 1.)

Jokaisesta poistoilmaventtiilistä johdetaan oma hormi vesikaton yläpuolelle, kuten kuvassa 1 on esitetty. Hormeja ei saa yhdistää, jotta poistoilma ei sekoittuisi muiden tilojen poistoilman kanssa. Poistohormien yhdistäminen voisi aiheuttaa ilman takaisinvirtausta huoneisiin. Poistoilmahormiin ei saa tehdä mutkia ja eikä pitkiä vaakasuoria siirtymiä, koska ilman liikkeen aiheuttama paine-ero on pieni. Poistohormin sivuttaissiirtymä voi olla enintään yhden metrin. (2, s. 209.)





KUVA 1. Painovoimaisen ilmanvaihdon periaatekuva (4)

Poistohormit pyritään keskittämään yhteen pisteeseen, jotta vesikattoa ei jouduta läpäisemään niin paljon. Tämä edellyttää huonejärjestyksen huolellista suunnittelua, jotta tiloja voidaan keskittää poistohormiryhmän ympärille. (2, s. 209.)

## 2.2 Painovoimainen ilmanvaihto ennen ja nyt

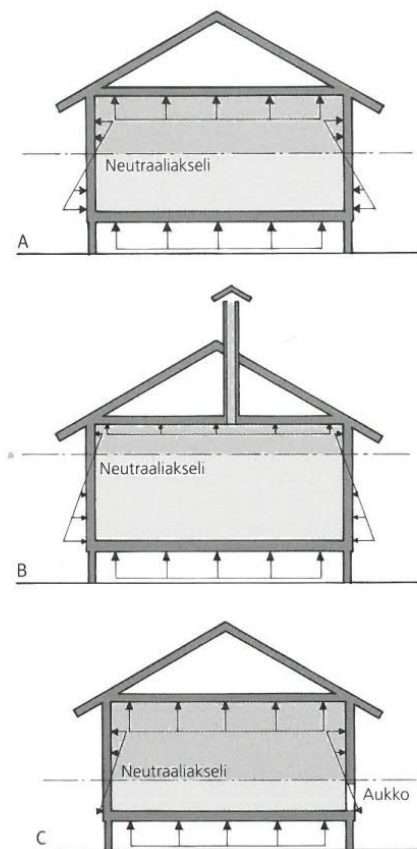
1950-luvulle asti painovoimainen ilmanvaihto oli Suomessa tavallisin ilmanvaihtojärjestelmä kaikissa rakennustyypeissä. Sen jälkeen asunnot ovat muuttuneet. Niissä ei ole enää poistohormeja lämmittäviä tulisijoja ja kosteuskuorma märkätiloissa on kasvanut. Lisäksi sähkölaitteiden määrän lisääntyminen on kasvattanut sisäisiä lämpökuormia. Ilmanvaihdon ja sisäilmaston vaatimukset ovat muuttuneet. Vanhoja ja toimiviksi todettuja ratkaisuja ei voida enää suoraan käyttää nykyaikaisen rakennuksen painovoimaisen ilmanvaihdon suunnittelussa. (3, s. 1.)

Nykyisin painovoimaisessa ilmanvaihdossa ilma tuodaan huoneisiin syrjäytysperiaatteella esimerkiksi tuuletusluukuissa olevien venttiilien tai tuloilmaikkunoiden kautta. Ilma kulkeutuu tilan läpi sen yläosassa oleviin poistoventtiileihin. Poistoilma johdetaan vesikatolle poistoilmahormin kautta. Vesikatolla poistoilma-aukot on sijoitettu vallitsevan tuulen suunnan mukaan. Ilmanvaihtoa tehostetaan ikkunaa avaamalla käyttäjien tarpeen mukaan. (3, s. 8.)

## 2.3 Hormivaikutus

Hormivaikutus syntyy, kun huoneilman lämmitessä sen tiheys pienenee ja lämmennyt kevyt ilma pyrkii nousemaan ylöspäin. Huoneen yläosaan muodostuu tällöin ylipainetta ja huoneen alaosaan alipainetta. Hormivaikutuksen aiheuttamat paine-erot ovat pieniä. Hormivaikutus riippuu tilan tai hormin korkeudesta ja lämpötilaerosta. Hormivaikutukseen vaikuttaa myös poistohormin korkeus, muoto ja pinnankarheus. (5, s. 35.)

Hormivaikutus aiheuttaa tilaan neutraaliakselin, jossa painetaso on sama kuin ulkona vallitseva ilmanpaine. Neutraaliakselin sijaintiin vaikuttavat huoneen aukotus, ilmanvaihtokanavisto, tulisijan-hormi, avoimet ikkunat ja ovet. Suljetussa tilassa neutraaliakseli sijaitsee huoneen keskellä (kuva 2, kohta A). Huoneessa, jossa on painovoimainen poistohormi, neutraaliakseli sijaitsee huoneen yläosassa (kuva 2, kohta B), eli lähes koko huoneessa vallitsee alipaine. Huoneessa, joissa on paljon aukkoja alaosassa, muodostuu neutraaliakseli huoneen alaosaan (kuva 2, kohta C). Painovoimaisessa ilmanvaihdossa neutraaliakselin on hyvä sijaita huoneen yläosassa, mikä tehostaa ilman vaihtumista. (5, s. 36.)



KUVA 2. Rakennuksen neutraaliakselin sijainti (5, s. 36)

### 2.3.1 Hormivaikutuksen laskenta

Painovoimaisen ilmanvaihdon toiminta perustuu ilman tiheyseroihin. Tarkemmassa laskentamenetelmässä otetaan huomioon ilmankosteus ja -lämpötilat. Yksinkertaisemmin hormivaikutus voidaan laskea pelkästään sisä- ja ulkolämpötilaerojen perusteella. Lisäksi on otettava huomioon kanaviston ja päätelaitteiden aiheuttamat painehäviöt. (2, s. 112.)

Hormivaikutuksen aiheuttama painero lasketaan kaavalla 1 (2, s. 112).

$$\Delta p_h = (\rho_u - \rho_s) g h \quad \text{KAAVA 1}$$

missä:

$\Delta p_h$  = hormivaikutuksen paine-ero [Pa]

$\rho_u$  = ulkoilman tiheys [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho_s$  = sisäilman tiheys [kg/m<sup>3</sup>]

$g$  = maanvetovoima kiihtyvyys [9,81 m/s<sup>2</sup>]

$h$  = hormin korkeus [m]

Koska ilmantiheys on kääntäen verrannollinen lämpötilaan, voidaan paine-ero laskea kaavalla 2 (2, s. 112).

$$\Delta p_h = \rho_s g h \left( \frac{T_s - T_u}{T_u} \right) \quad \text{KAAVA 2}$$

missä:

$\Delta p_h$  = hormin käyttövoimapaine [Pa]

$\rho_s$  = sisäilman tiheys [kg/m<sup>3</sup>]

$g$  = maanvetovoima kiihtyvyys [9,81 m/s<sup>2</sup>]

$h$  = hormin korkeus [m]

$T_s$  = sisäilman lämpötila [K]

$T_u$  = ulkoilman lämpötila [K]

Hormivaikutuksen laskennassa tarvittava ilmantiheys voidaan selvittää laskemalla, kun tiedetään ilmanpaine ja ilmankosteus. Normaali ilmanpaine on 1 atm, joka on 101,3 kPa eli 1,013 bar. (6, s. 124.)

Ilmantiheys voidaan selvittää tarkoituksiin tehtyjen laskureiden avulla. Esimerkiksi Vaisala Oyj on julkaissut netissä ilmaisen kosteuskurin, jonka avulla voidaan selvittää useita kosteuden suureita yhdestä tunnetusta arvosta. Laskurin avulla voidaan tarkastella, miten lämpötilan ja ilmanpaineen muutokset vaikuttavat ilmankosteuteen ja tiheyteen. (7.)

### 2.3.2 Poistohormin painehäviön laskenta

Poistohormin painehäviön laskentaan vaikuttaa muun muassa ilmanvirtausnopeus, poistohormin materiaali ja pinnankarheus, poistohormissa olevat kertavastukset ja virtauksen laatua kuvaava Reynoldsin luku. Ilman tilavuusvirta on tärkeä suure, kun mitoitetaan poistoilmakanavia. Tilavuusvirta lasketaan kertomalla hormin pinta-ala ilman virtausnopeudella. Tilavuusvirta lasketaan kaavalla 3 (2, s. 113).

$$q_v = Av \quad \text{KAAVA 3}$$

missä:

$q_v$  = ilman tilavuusvirta [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$A$  = poistohormin pinta-ala [ $\text{m}^2$ ]

$v$  = ilman virtausnopeus poistokanavassa [ $\text{m/s}$ ]

Hormin mitoituksessa täytyy tietää, minkä verran hormi aiheuttaa painehäviötä. Painovoimaissa ilmanvaihdossa käyttövoima on pieni, joten hormin painehäviö pitää olla myös pieni. Tämän takia painovoimaisen ilmanvaihdon hormit suunnitellaan väljempinä kuin koneellisessa ilmanvaihtojärjestelmissä. Hormin painehäviö lasketaan kaavalla 4 (2, s. 112).

$$\Delta p_{\text{hormi}} = \left( \Sigma \zeta + \frac{\lambda l}{d_h} \right) \frac{1}{2} \rho v^2 \quad \text{KAAVA 4}$$

missä:

$\Delta p_{\text{hormi}}$  = hormin painehäviö [Pa]

$\Sigma$  = kertavastusten summa [-]

$\zeta$  = kertavastuskerroin [-]

$\lambda$  = kitkakerroin [-]

$l$  = hormin pituus [m]

$d_h$  = kanavan hydraulinen halkaisija [m]

$\rho_s$  = ilman tiheys [kg/m<sup>3</sup>]

$v$  = virtausnopeus [m/s]

Tasapainotilanteessa hormin käyttövoima ja hormin painehäviöt asettuvat yhtä suuriksi, eli kaava 2 on tasapainossa kaavan 4 kanssa seuraavasti  $\Delta p_{\text{käyttövoima}} = \Delta p_{\text{hormi}}$  (2, s. 112).

$$\rho_s g h \left( \frac{T_s - T_u}{T_u} \right) = \left( \Sigma \zeta + \frac{\lambda l}{d_h} \right) \frac{1}{2} \rho_s v^2$$

Hormin mitoituksessa täytyy tietää ilman virtausnopeus. Ilman virtausnopeus  $v$  voidaan ratkaista Bernoulin yhtälön avulla kaavalla 5 (2, s. 113).

$$v = \sqrt{\frac{\Delta p_h}{\left( \Sigma \zeta + \frac{\lambda l}{d_h} \right) \frac{1}{2} \rho_s}} \quad \text{KAAVA 5}$$

missä:

$v$  = ilman virtausnopeus [m/s]

$\Delta p_h$  = hormin käyttövoima [Pa]

$\Sigma$  = kertavastusten summa [-]

$\zeta$  = kertavastuskerroin [-]

$\lambda$  = kitkakerroin [-]

$l$  = hormin pituus [m]

$d_h$  = kanavan hydraulinen halkaisija [m]

$\rho_s$  = sisäilman tiheys [kg/m<sup>3</sup>]

Yhtälössä 4 ja 5 oleva hydraulinen halkaisija  $d_h$  tarkoittaa sen pyöreän kanavan halkaisijaa, minkä painehäviö samalla ilmavirran nopeudella vastaa kyseisen suorakaidekanavan painehäviötä. Pyöreällä kanavalla hydraulinen halkaisija on kanavan sisähalkaisija. Hydraulinen halkaisija lasketaan kaavalla 6. (2, s. 97.)

$$d_h = \frac{2 \times a \times b}{a + b}$$

KAAVA 6

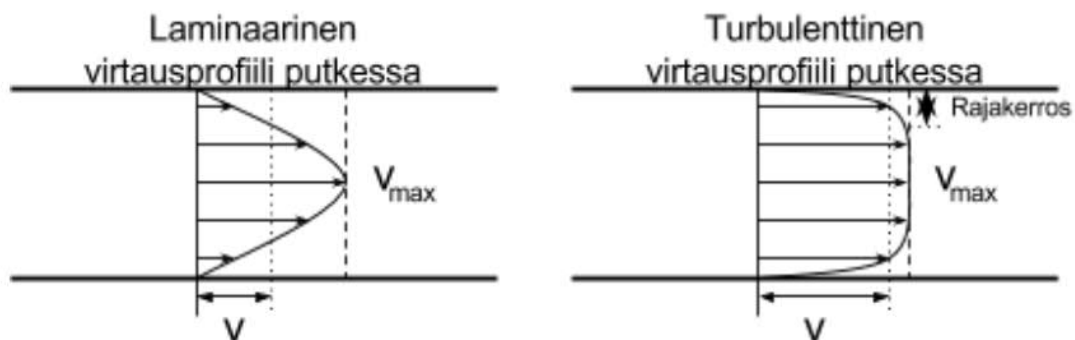
missä:

$d_h$  = Hydraulinen halkaisija [m]

$a$  = suorakaidekanavan korkeus [m]

$b$  = suorakaidekanavan leveys [m]

Ilmavirtauksen painehäviön laskentaan vaikuttaa se minkä tyyppistä ilmanvirtaus on. Kanavassa ilman virtaus voi olla laminaarista tai turbulanttista virtausta. Laminaarisessa virtauksessa virtaus on tasaista ja fluidikerrokset liikkuvat samaan suuntaan toistensa, putken keskikohdan ja putken seinämän kanssa. Virtauksen poikkileikkaus on parabeelin muotoinen. Virtausnopeuden kasvessa virtaus alkaa pyörteillä ja se muuttuu turbulanttiseksi. Virtausprofiilien poikkileikkaukset on esitetty kuvassa 3. Turbulenttisen virtauksen maksimivirtausnopeus on putken keskellä ja virtausprofiili on lähes tasainen. Laminaarisen ja turbulanttisen virtauksen välillä on ns. siirtymäalue. (8, s. 16–17.)



KUVA 3. Laminaarinen ja turbulentin virtausprofiili putkessa (8, s. 17)

Virtauksen laatua voidaan kuvata Reynoldsin luvulla, joka on dimensioton luku putken läpimitan  $d$ , keskimääräisen virtausnopeuden  $v$  ja kinemaattisen viskositeetin  $\nu$  välillä. Laminaarisella virtauksella Reynoldsin luku on alle 2320 ja turbulantisella virtauksella se on yli 3000. Väliin jäävä alue on yllimenoalue, jossa esiintyy molempia virtauksen lajeja. (8, s. 18.) Reynoldsin luku lasketaan kaavalla 7.

$$R_e = \frac{v D_h}{\nu}$$

KAAVA 7

missä:

$R_e$  = Reynoldsin luku [-]

$v$  = virtausnopeus [m/s]

$D_h$  = hydraulinen halkaisija [m]

$\nu$  = kinemaattinen viskositeetti [ $\nu = \mu/\rho$ ] [m<sup>2</sup>/s]

Putkivirtauksessa syntyy kitkahäviöitä ja kertahäviöitä. Kitkahäviöt syntyvät virtaavan aineen ja kanavaseinän välisestä kitkasta. Kitkakertoimen suuruuteen vaikuttavat virtauksen laatu ja putken pinnankarheus. (2, s. 95.)

Laminaarisessa virtauksessa kitkakerroin  $\lambda$  voidaan laskea kaavalla 8. (2, s. 96).

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

KAAVA 8

missä:

$\lambda$  = kitkakerroin [-]

$Re$  = Reynoldsin luku [-]

Ylimenovyöhykkeellä, kun Reynoldsin luku on välillä 2300–3000 kitkakerroin voidaan laskea Blasiusuksen kaavalla (kaava 9). (7, s. 18).

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}$$

KAAVA 9

missä:

$\lambda$  = kitkakerroin [-]

$Re$  = Reynoldsin luku [-]

Turbulenttisessa virtauksessa, kun Reynoldsin luku on yli 3000 kitkakerroin voidaan laskea kaavalla 10 (9).

$$\lambda = \frac{0,25}{\log \left[ \left( \frac{k}{3,7 Dh} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right)^2 \right]}$$

KAAVA 10

missä:

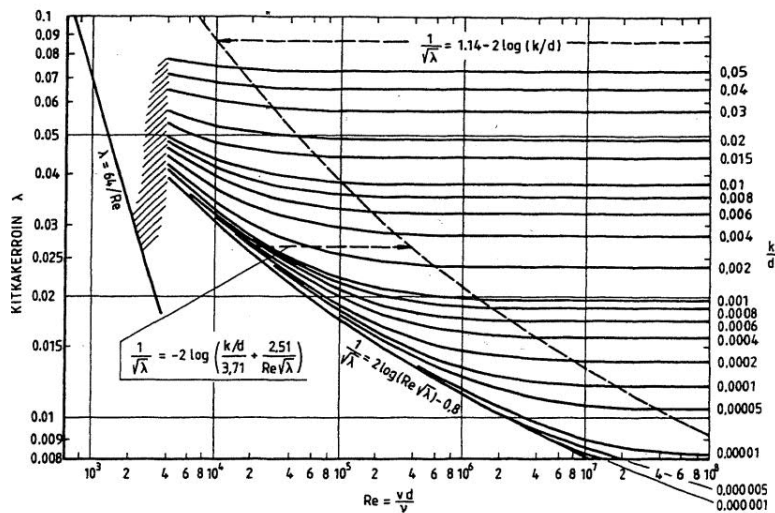
$\lambda$  = kitkakerroin [-]

$k$  = kanavan pinnan karheus [m]

$d_h$  = hydraulinen halkaisija [m]

$Re$  = Reynoldsin luku [-]

Kitkakerroin voidaan myös lukea kuvassa 4 olevasta Moodyn diagrammista.



KUVA 4. Kitkakertoimen arvioimiseen käytetty Moodyn diagrammi (2, s. 97)

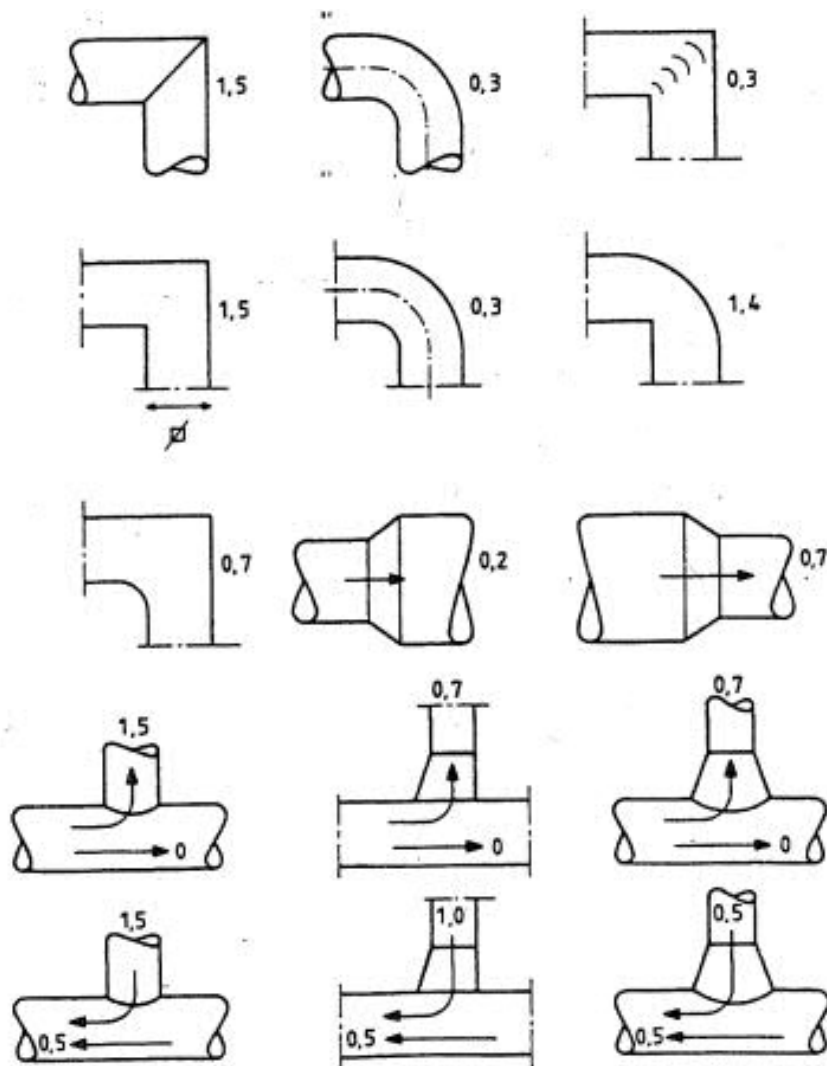
Kanavamateriaalin karheus vaikuttaa kitkahäviön suuruuteen. Tyypillisimpiä kanavamateriaalien karheusarvoja on kirjattu taulukkoon 1.

TAULUKKO 1 Kanavamateriaalien karheus  $k$ , mm. (2, s. 96)

Putki- tai pintamateriaali	karheus $k$ , mm
Muoviputki	0,0015–0,007
Teräsputki, valssattu	0,01–0,05
Teräsputki, sinkitty	0,1–0,16
Peltikanava, kierresaumattu	0,15
Betoniputki, teräsbetoni	0,1–0,15
Betoniputki, slammattu	0,3–0,8
Tiilimuuraus, tasoitettu	2–3
Tiilimuuraus, raaka	5–8



Kertahäviöitä syntyy mm. putken mutkissa, venttiileissä, virtaus poikkipinnan muutoksissa yms. Kertavastuksien arvoja on esitetty kuvassa 5



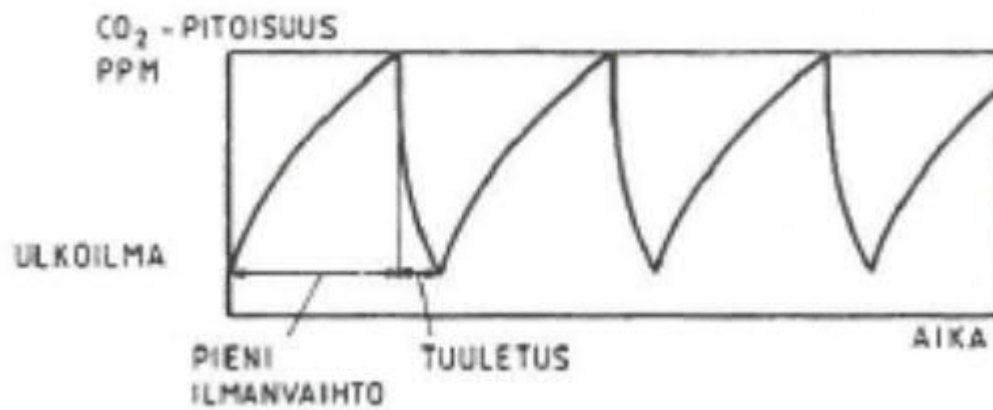
KUVA 5. Kanavaosien keskimääräisiä kertavastuskertoimia (2, s. 100)

## 2.4 Ilmanvaihdon tehostus tuulettamalla

Asetuksen 1009/2017 mukaan suunniteltua ilmanvaihtoa pitää voida tehostaa 30 prosenttia suuremmaksi kuin suunnitellun käyttöajan ilmanvirrat ovat. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa se voidaan toteuttaa esimerkiksi tuulettamalla.

Tuuletus tapahtuu avaamalla ikkunoita tai ovia kuormitushuipun ajaksi. Tuuletuksen avulla ilmanvaihto tehostuu hetkellisesti suureksi ja ilma vaihtuu nopeasti. Kuvasta 6 nähdään, miten ikkunatuuletus vaikuttaa huonetilan epäpuhtauspitoisuuksiin. Tuuletus voidaan toteuttaa yhden huoneen

tuuletuksella tai rakennuksen läpi tuulettamalla avaamalla ikkunat rakennuksen vastakkaisilta seiniltä. (2, s. 210.)



KUVA 6. Ikkunatuuletuksen vaikutus tilan hiilidioksidipitoisuuteen (2, s. 211)

Tuuletuksen ilmavirrat voidaan todeta laskemalla tai virtaussimuloinnin avulla. Ilmavirtaus rakennuksen vaipan tuuletusaukoista riippuu tuuletusaukon geometriasta, pinta-alasta ja aukon yli vallitsevasta paine-erosta. Paine-ero syntyy lämpötilaerojen ja tuulen vaikutuksesta. (2, s. 211.)

### 3 PAINOVOIMAISEN ILMANVAIHDON ERITYISPIIRTEET

Painovoimainen ilmanvaihto saa käyttövoimansa sisä- ja ulkoilman lämpötilaeroista ja tuulesta. Se eroaa siten merkittävästi koneellisesta ilmanvaihtojärjestelmästä. Ilmanlämpötila ja tuuliolosuhteet vaihtelevat vuorokauden ja vuoden mittaan. Painovoimaisen järjestelmän laskennallinen vaatimusten osoittaminen ja mittaaminen on vaikeampaa kuin koneellisen järjestelmän. (3, s. 1.)

Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän erityispiirre on myös se, että rakennus täytyy suunnitella kokonaisvaltaisesti. Järjestelmää ei voi vaihtaa kesken suunnitteluprosessin. Tavoitteena olevan ilmavirran saavuttamiseksi ilmanvaihtoa joutuu säätämään ulkolämpötilan ja tuulen mukaan. Painovoimaiseen ilmanvaihtoon ei voi toteuttaa lämmöntalteenottoa sen aiheuttaman painehäviön takia. Ilmansuodatuksen ja äänenvaimennuksen toteuttaminen on myös haastavampaa kuin koneellisessa järjestelmässä. (3, s. 1.)

#### 3.1 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017

Ilmanvaihtoasetus koskee uuden rakennuksen sisäilmaston ja ilmanvaihdon suunnittelua ja rakentamista. Asetusta ei sovelleta maatalouden tuotantorakennuksiin eikä alle neljä kuukautta vuodessa käytettäviin vapaa-ajan rakennuksiin. (10, s. 1.)

Ilmanvaihtoasetus antaa määräyksiä painovoimaisesta ilmanvaihdosta seuraavasti:

- Painovoimaisessa järjestelmässä ilmanvaihtuventtiilien on oltava helposti suljettavissa. (10, s. 4).
- Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ei voida yhdistää yhden asunnon nousukanavia eikä käyttää usean asunnon yhteisiä nousukanavia (10, s. 7).
- Painovoimaista ilmanvaihtojärjestelmää, koneellista poistoilmanvaihtojärjestelmää tai koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmää ei saa suunnitella yhdistettäväksi siten, että ilman virtaussuunnat huonetilojen välillä ja kanavistoissa voivat muuttua ilmavirtoja ohjattaessa. (10, s. 7).

- Rakennuksen painovoimaisen tai koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän on oltava luja ja tiivydeltään vähintään tiiviysluokkaa B. Jos poistoilmassa on merkittävästi muita kuin ihmis-peräisiä epäpuhtauksia, on tiiviysluokan oltava vähintään C. (10, s. 8.)

Painovoimainen ilmanvaihto -oppaaseen on koottu painovoimaisen ilmanvaihdon tarkastuslista. (liite 1) (3, s. 12).

### 3.2 Määräystenmukaisuuden osoittaminen

Painovoimaisen ilmanvaihdon määräystenmukaisuus on osoitettava rakennusluvan hakemisen yhteydessä. Rakennusvalvonnan kanta painovoimaiseen ilmanvaihtoon pitää selvittää ennakkoneuvottelujen yhteydessä. Ilmanvaihtosuunnitteluun pitää olla pätevä suunnittelija. Suunnittelijalta edellytetään riittävää kokemusta ja suunnittelutehtävään soveltuvaa tutkintoa. Suunnittelijoiden pätevyysvaatimuksia löytyy ympäristöministeriön ohjeesta YM2/601/2015 (3, s. 3.)

Painovoimaisesta ilmanvaihdosta laaditaan ilmanvaihtosuunnitelma, jossa esitetään järjestelmä ja sen laskennallinen mitoitus. Suunnitelmat on yleensä esitettävä rakennusvalvontaviranomaiselle ennen kunkin rakennusvaiheen aloittamista. Suunnitelmien liitteeksi on hyvä laatia järjestelmäselvitys. Järjestelmäselvityksessä kuvataan muun muassa mitoitusperusteet, lämpövihtyvyyden säävutetaan, mahdolliset ulkoilman suodattimet ja äänenvaimennukset. Jos äänenvaimennusta tai ilmansuodatusta ei tarvita, siitä on esitettävä perustelut. (3, s. 3.) Rakennushankkeessa täytyy olla ilmanvaihdosta vastaava työnjohtaja. Sama työnjohtaja toimii yleensä myös KVV työnjohtajana. (3, s. 3.)

Ilmanvaihtojärjestelmän ilmavirrat täytyy mitata ja tarvittaessa säätää ennen käyttöönottoa. Mittauksista laaditaan mittauspöytäkirja. Hormien ja kanavien tiiviys pitää myös varmistaa ennen käyttöönottoa. Ilmanvaihtoasetuksen §:ssä 19 on kerrottu ilmanvaihtolaitteiston tiiviysluokat ja suurimmat sallitut vuotoilmavirrat. Koneellisessa ja painovoimaisessa järjestelmässä järjestelmän tiiviysluokan pitää olla vähintään luokkaa B. (3, s. 3.)

Käyttö- ja huoltokirjassa kuvataan ilmanvaihtojärjestelmän käyttö ja kerrotaan, miten järjestelmää pitää huoltaa. Siinä kerrotaan, miten venttiilejä pitää avata ja sulkea käytön aikana ja milloin mahdolliset suodattimet pitää vaihtaa ja kanavat ja venttiilit puhdistaa. Huolto-ohjeessa on kerrottu myös mahdollisten puhaltimien käytöstä ja huollosta. Ilmanvaihdon toimivuutta voidaan arvioida

olosuhdeseurannalla, jossa seurataan ilmankosteutta ja ilman hiilidioksidipitoisuutta. Olosuhdeseuranta ei voi korvata ilmanvaihdon laskennallista mitoitusta. (3, s. 3.)

### 3.3 Painovoimaisen ilmanvaihdon haasteita

Painovoimaisen ilmanvaihdon haasteena on ajoittain puuttuva paine-ero. Paine-eroa ei synny, jos sisä- ja ulkolämpötilan eroa ei ole. Ilmanvaihtoa voi tehostaa tällaisessa tilanteessa puhaltimella tai käyttämällä aurinkoavusteista ilmanvaihtoa. Perinteisesti ilmanvaihtumista on tehostettu ikkuna-tuuletuksella. Siitä ei ole olemassa mitoitusohjeistusta. (3, s. 4.)

Haasteena on myös poistoilmahormien takaisinvirtaus. Poistoilman päähän sopivasti tuleva tuuli voi aiheuttaa ilman takaisinvirtausta poistoilmahormissa. Korkeampi ulko- kuin sisälämpötila voi aiheuttaa ilman takaisinvirtausta sisätiloihin. Takaisinvirtaus voi aiheuttaa kosteuden kondensoitumista kanavien seinämiin. Takaisinvirtauksen haitat on arvioitava kohdekohtaisesti. (3, s. 4.)

Takaisinvirtausta voi aiheuttaa myös tulisijan riittämätön korvausilmansaanti, jolloin tulisija alkaa ottaa korvausilmaa poistohormin kautta. Liesituuletin saattaa myös aiheuttaa takaisinvirtausta poistoilmahormeissa. Takaisinvirtaus voi aiheuttaa sen, että ilma virtaa likaisemmasta puhtaampaan päin, esimerkiksi WC-tiloista keittiöön päin. Takaisinvirtaus tuo tiloihin suodattamatonta ilmaa. Takaisinvirtausta voi vähentää poistoilmahormin päähän asennettavilla tuuliohjaimilla ja varmistamalla tulisijan ja liesituulettimen riittävä korvausilman saanti. (3, s. 4.)

WC- ja pesutilat voidaan tehdä omana palvelualueenaan, jolloin niiden ilmanvaihto ei sekoitu muiden tilojen kanssa. Tällöin niissä täytyy olla oma ulkoilmaventtiili ja poistoilmaventtiili. Väliovi täytyy myös tehdä tiiviisti ja väliovea täytyy pitää kiinni. (3, s. 4.)

Poistohormit voidaan varustaa puhaltimilla, joita käytetään tarvittaessa. Puhaltimien ohjaus voidaan toteuttaa sisäilman hiilidioksidipitoisuuden tai sisäilmankosteuden mukaan. Puhaltimeksi käy esimerkiksi harvalapainen aksiaalipuhallin, joka aiheuttaa vähän painehäviötä pysähdyksissä ollessaan. Puhallinavusteista ilmanvaihtoa voidaan pitää painovoimaisena ilmanvaihtona, koska se toimii pääasiassa ilman avustusta. (3, s. 4.)

## 4 ENERGIATALOUDELLISUUS PAINOVOIMAISESSA ILMANVAIHDOS- DOSSA

Painovoimaisella ilmanvaihdolla varustetun talon energiankulutus on suurempi kuin talon, jossa on lämmöntalteenotolla varustettu ilmanvaihto. Hirsirakennuksen energiankulutus on myös suurempi kuin esimerkiksi rankarakenteisen talon energiankulutus johtuen hirren suuremmasta U-arvosta.

Hirsirakennuksissa ja muissa massiivipuorakennuksissa voidaan E-luvun raja-arvot ylittää käyttötarkoitukseluokan 1a rakennuksessa 20 prosentilla, 1b–c rakennuksessa 15 prosentilla ja muussa käyttötarkoitukseluokan 1d–8 rakennuksessa 10 prosentilla. Rakennuksen käyttötarkoitukseluokan mukaiset raja-arvot ilmoitetaan asetuksessa 1010/2017. (11, § 4.)

### 4.1 Rakenteet

Painovoimaiseen ilmanvaihtoon ei voi toteuttaa lämmöntalteenottoa yleisesti käytössä olevilla teknisillä ratkaisuilla. Lämmöntalteenottolaite aiheuttaa liian suuren painehäviön käytettävissä olevaan paine-eroon nähden. Puhallinavusteisissa hybridijärjestelmissä lämmöntalteenottolaitteen käyttö on mahdollista. Lämmön talteenotto laskee poistoilman lämpötilaa, joten painovoimaisen ilmanvaihdon käyttövoima pienenee lämpötilaeron pienenemisen takia. (3, s. 1.)

Painovoimaisessa ilmanvaihdossa lämmön talteenoton puuttuminen johtaa keskimääräistä korkeampaan lämmitysenergiankulutukseen. Lämmön talteenoton puuttumisen vuoksi tilojen lämmityslaitteiden tehoja täytyy lisätä. Lattialämmitysjärjestelmä ei välttämättä enää sovellu lämmönjakojärjestelmäksi, koska lattian pintalämpötilat nousevat liian suuriksi lattiamateriaaleille ja lattiasta tulee epämiellyttävän kuuma. Tämä täytyy ottaa huomioon koko talon LVI-suunnittelussa. (12.)

Rakentamismääräysten E-lukuvaatimuksilla ohjataan käyttämään painovoimaisen ilmanvaihdon kanssa tilojen ja käyttöveden lämmitykseen energiamuotoa, jonka kerroin muodostuu E-lukulasennassa edulliseksi. E-lukuvaatimuksen saavuttamiseen auttaa myös uusiutuvan energian tuottaminen rakennuksen omaan käyttöön. (3, s. 5.)

## 4.2 Energiaselvitys

Rakennusta suunniteltaessa on rakennuksesta laadittava energiaselvitys asetuksen 1010/2017 mukaan. Energiaselvitys sisältää seuraavat tarkastelut:

- E-luvun laskenta
- E-luvun laskennan keskeiset lähtötiedot ja tulokset
- rakennuksen lämpöhäviöiden määräyksen mukaisuuden osoittaminen 23 § mukaan
- koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon laskennan 30 § mukaan
- laskennallinen kesäaikainen huonelämpötila 29 §:n mukaan
- rakennuksen energiatodistus, jos rakennuksen energiatodistusta koskeva lainsäädäntö sitä edellyttää (11, s. 15.)

Rakenteellinen energiatehokkuuden määräystenmukaisuus voidaan osoittaa myös kuvan 7 mukaan. Siinä on annettu vertailuarvot, jotka täytyy täyttää. Energiaselvitys pitää päivittää ennen rakennuksen käyttöönottoa. (11, s. 15.)

1010/2017	
33 §	
<i>Rakenteellinen energiatehokkuus</i>	
Rakennuksen energiatehokkuudelle 4 §:ssä asetettujen vaatimusten täyttyminen voidaan 4 §:stä poiketen osoittaa rakenteellisella energiatehokkuudella.	
Käyttötarkoitukseluokkiin 1 ja 2 kuuluva rakennus täyttää energiatehokkuudelle asetetut vaatimukset, jos:	
1) rakennuksen lämpöhäviö on enintään yhtä suuri kuin rakenteellisen energiatehokkuuden vertailuarvoilla rakennukselle määritetty vertailulämpöhäviö vastaavasti laskettuna kuin 24, 25 ja 26 §:ssä on esitetty. Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien, ilmanvuotoluvun ja poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen vertailuarvot ovat:	
a) seinä, käyttötarkoitukseluokka 1	0,12 W/(m <sup>2</sup> K);
b) seinä, käyttötarkoitukseluokka 2	0,14 W/(m <sup>2</sup> K);
c) yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,07 W/(m <sup>2</sup> K);
d) ryömintätilaan rajoittuva tuuletettu alapohja ja maata vasten oleva rakennusosa	0,10 W/(m <sup>2</sup> K);
e) ikkuna, kattoikkuna, ovi, kattovalokupu, savunpoisto- ja uloskäyntiluukku	0,70 W/(m <sup>2</sup> K);
f) rakennuksen ilmanvuotoluku (q <sub>50</sub> )	0,60 m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> );
g) poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde	65 prosenttia;
2) Rakennus on varustettu koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmällä, jonka ominaissähköteho on enintään	
	1,5 kW/(m <sup>3</sup> /s);
3) Rakennuksen lämmitysjärjestelmänä on käytettävä kaukolämpöä, maalämpöpumpua tai ilma-vesilämpöpumpua.	

KUVA 7. Rakenteellinen energiatehokkuuden arviointi (11, s. 15)

Vertailulämpöhäviön tasauslaskennassa on käytettävä ilmanvaihtojärjestelmän poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena arvoa 55 prosenttia. Poistoilman vuosihyötysuhteen arvona käytetään nollaa prosenttia, jos ilmanvaihtojärjestelmän toiminta perustuu pääasiassa korkeus- ja lämpötilaerojen sekä tuulen aiheuttamiin paine-eroihin. Lämmön talteenoton puuttumista ei tarvitse kompensoida tasauslaskelmassa rakennusosien tai rakenteiden paremmalla lämmöneristävyydellä tai ilmanpitävyydellä. (11, s. 13.)

E-luvun laskennassa ei ole erilaisia vaatimuksia ilmanvaihtojärjestelmän mukaan. Painovoimaisella ilmanvaihdolla varustetussa rakennuksessa tulee huomioida energiatehokkuutta parantavia tekijöitä E-lukuvaatimuksen täyttämiseksi. Mikäli painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaa avustaa puhallin, sen sähkönkulutus lasketaan mukaan E-lukuun sen käyttöajan mukaisesti, joka tarvitaan laskennallisesti suunnitellun ilmavirran saavuttamiseen. (3, s. 2.) Ympäristöministeriö on julkaissut vuonna 2018 oppaan Energiatehokkuus, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Oppaassa kerrotaan, miten rakennuksen energiatehokkuusvaatimusten täyttyminen lasketaan. (13, s. 4.)

Lämmön talteenoton puuttuminen painovoimaisessa ilmanvaihdossa lisää lämmitysenergian kuluusta merkittävästi. Alla on esimerkkilaskelma, minkä verran lämmitysenergiaa kuluu painovoimaisella ilmanvaihdolla varustetussa 130 m<sup>2</sup>:n talossa verrattuna taloon, jossa on lämmöntalteenotolla varustettu ilmanvaihto. Taulukossa 2 on verrattu lämmitysenergiakulutuksia taloissa, joissa toisessa on painovoimainen ilmanvaihto ja toisessa on lämmöntalteenotolla varustettu ilmanvaihto.

Vertailu on tehty seuraavilla tiedoilla.

$$A = 130 \text{ m}^2$$

$$\eta_{a,ivkone} = 0,55$$

$$ulkoilmavirta = 0,4 \text{ dm}^3/(\text{s m}^2)$$

$$t_s = 21 \text{ °C}$$

$$t_u = \text{ulkoilman lämpötila kuukausittain säävyöhykkeellä I ja II Helsinki-Vantaa}$$

$$t_{sp} = 18 \text{ °C}$$

$$Q_{iv} = \text{painovoimaisen ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve [kWh]}$$



$Q_{\text{tila}}$  = tilojen lämmitysenergia tarve [kWh]

$Q_{\text{iv, tuloilma}}$  = tilassa tapahtuva tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve [kWh]

$W_{\text{iv}}$  = ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergia kulutus [kWh]

TAULUKKO 2. Lämmitysenergiakulutuksen vertailu taloissa, joissa on painovoimainen ilmanvaihto tai lämmöntalteenotolla varustettu ilmanvaihto

		Painovoimaisen ilmanvaihdon energiantarve		Koneellisen ilmanvaihdon energiantarve		
		$Q_{\text{iv, PVIV}}$ (kWh)	$Q_{\text{tila}} + Q_{\text{iv, PVIV}}$ (kWh)	$Q_{\text{iv, tuloilma}} + Q_{\text{iv}}$ (kWh)	$Q_{\text{tila}} + (Q_{\text{iv, tuloilma}} + Q_{\text{iv}})$ (kWh)	$W_{\text{iv}}$ (kWh)
Kuukausi	$T_u$ (°C)					
tammikuu	-3,97	1159,2	2678,4	521,7	2178,5	69,6
helmikuu	-4,5	1069,3	2478,8	481,2	2017,7	62,9
maaliskuu	-2,58	1094,7	2577,0	492,6	2104,9	69,6
huhtikuu	4,5	741,3	1856,4	333,6	1536,7	67,4
toukokuu	10,76	475,4	1322,2	213,9	1117,2	69,6
kesäkuu	14,23	304,2	944,8	136,9	813,6	67,4
heinäkuu	17,3	171,8	653,0	171,8	673,4	69,6
elokuu	16,05	229,8	756,6	229,8	783,9	69,6
syyskuu	10,53	470,4	1225,9	211,7	1023,0	67,4
lokakuu	6,2	687,1	1663,6	309,2	1367,3	69,6
marraskuu	0,5	921,0	2135,2	414,5	1738,0	67,4
joulukuu	-2,19	1076,6	2478,0	484,5	2013,7	69,6
	5,57	8400,8	20769,9	4001,2	17367,9	819,9

Pinta-alaltaan 130 m<sup>2</sup>:n painovoimaisella ilmanvaihdolla varustetun talon tuloilman lämmittämiseen kuluu 4400 kWh enemmän energiaa vuodessa kuin talossa, jossa on lämmöntalteenotolla varustettu ilmanvaihto. Lisääntynyt lämmitystehontarve täytyy tuoda tilaan huoneiden lämmityslaitteella, esimerkiksi lattia- tai patterilämmityksellä.

#### 4.3 Lämpöhäviöiden tasauslaskelma

Energiataseasetuksessa 1010/2017 edellytetään uuden rakennuksen lämpöhäviöiden vaatimustenmukaisuuden osoittamista. Rakennuksen lämpöhäviö on rakennuksen vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu lämpöhäviö, joka voi olla enintään yhtä suuri kuin vertailuarvoilla rakennukselle määritetty vertailulämpöhäviö. Rakennuksen lämpöhäviöille asetettu vaatimus koskee erikseen lämpimiä ja puolilämpimiä tiloja rakennuksessa. Ympäristöministeriön nettisivuilla on Excel-laskuri Lämpöhäviöiden tasauslaskin 2018, jolla voidaan osoittaa vaatimustenmukaisuus. (14, s. 6.)

Taulukoissa 3 ja 4 on esimerkki ilmanvaihdon osalta, minkä verran painovoimainen ilmanvaihto lisää rakennuksen lämpöhäviötä, W/K. Arvoina on käytetty laskurissa valmiina pinta-aloja ja U-arvoja ja ilmanvuotolukuna on käytetty  $2,0 \text{ m}^3 / (\text{h m}^2)$ .

TAULUKKO 3. Lämpöhäviöiden taseaselaskin 2018 esimerkkitalo, jossa on LTO ilmanvaihdossa (15)

VAIPAN ILMAVUODOT	Ilmanvuotoluku, $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$ [ $q_{50}$ ]		Vuotoilmavirta, $\text{m}^3/\text{s}$ [ $q_{v,v} = q_{50} / 35 \cdot A/3600$ ]		Ominaislämpöhäviö, W/K [ $H_{\text{vuotoilma}} = 1200 \cdot q_{v,v}$ ]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Vuotoilma						
Lämpimät tilat	2,0	2,0	0,0070	0,0070	8,4	8,4
Puolilämpimät tilat	2,0				-	-
ILMANVAIHTO	Poistoilmavirta, $\text{m}^3/\text{s}$ [ $q_{v,p}$ ]		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihiyötysuhde, % [ $\eta_a$ ]		Ominaislämpöhäviö, W/K [ $H_{iv} = 1200 \cdot q_{v,p} \cdot (1-\eta_a)$ ]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto						
Lämpimät tilat		0,059	55	67	31,8	23,3
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0	-	-
Puolilämpimät tilat			55		-	-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0	-	-
					Ominaislämpöhäviö, W/K [ $H = H_{\text{joht}} + H_{\text{vuotoilma}} + H_{iv}$ ]	
Rakennuksen lämpöhäviöiden taseus					Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö					129	120
Puolilämpimien tilojen					-	-

TAULUKKO 4. Lämpöhäviöiden taseaselaskin 2018 esimerkkitalo, jossa on painovoimainen ilmanvaihto (15)

VAIPAN ILMAVUODOT	Ilmanvuotoluku, $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$ [ $q_{50}$ ]		Vuotoilmavirta, $\text{m}^3/\text{s}$ [ $q_{v,v} = q_{50} / 35 \cdot A/3600$ ]		Ominaislämpöhäviö, W/K [ $H_{\text{vuotoilma}} = 1200 \cdot q_{v,v}$ ]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Vuotoilma						
Lämpimät tilat	2,0	2,0	0,0070	0,0070	8,4	8,4
Puolilämpimät tilat	2,0				-	-
ILMANVAIHTO	Poistoilmavirta, $\text{m}^3/\text{s}$ [ $q_{v,p}$ ]		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihiyötysuhde, % [ $\eta_a$ ]		Ominaislämpöhäviö, W/K [ $H_{iv} = 1200 \cdot q_{v,p} \cdot (1-\eta_a)$ ]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto						
Lämpimät tilat			55	67	-	-
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta		0,059		0	70,8	70,8
Puolilämpimät tilat			55		-	-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0	-	-
					Ominaislämpöhäviö, W/K [ $H = H_{\text{joht}} + H_{\text{vuotoilma}} + H_{iv}$ ]	
Rakennuksen lämpöhäviöiden taseus					Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö					168	168
Puolilämpimien tilojen					-	-

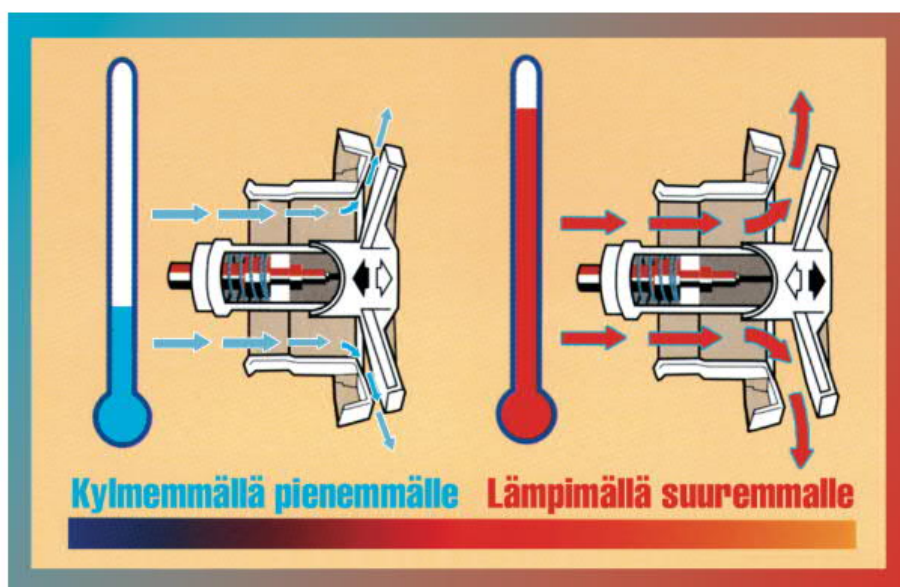
Tasauslaskelma 2018 esimerkkitalossa vertailuratkaisun lämpöhäviö lämmöntalteenotolla varustetussa ilmanvaihdossa oli 129 W/K ja suunnitteluratkaisu oli 120 W/K. Painovoimaisesti ilmastoidussa talossa vertailu- ja suunnitteluratkaisu on 168 W/K. Painovoimainen ilmanvaihto kasvattaa esimerkkitalon ominaislämpöhäviötä 48 W/K.

## 5 JÄRJESTELMÄ

Tässä luvussa käydään läpi painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän tulo- ja poistoilmalaitteita sekä ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelua ja mitoitusta. Lisäksi esitellään Painovoimainen ilmanvaihto -oppaan mitoitusaulukoiden käyttöä.

### 5.1 Ulkoilmalaitteet

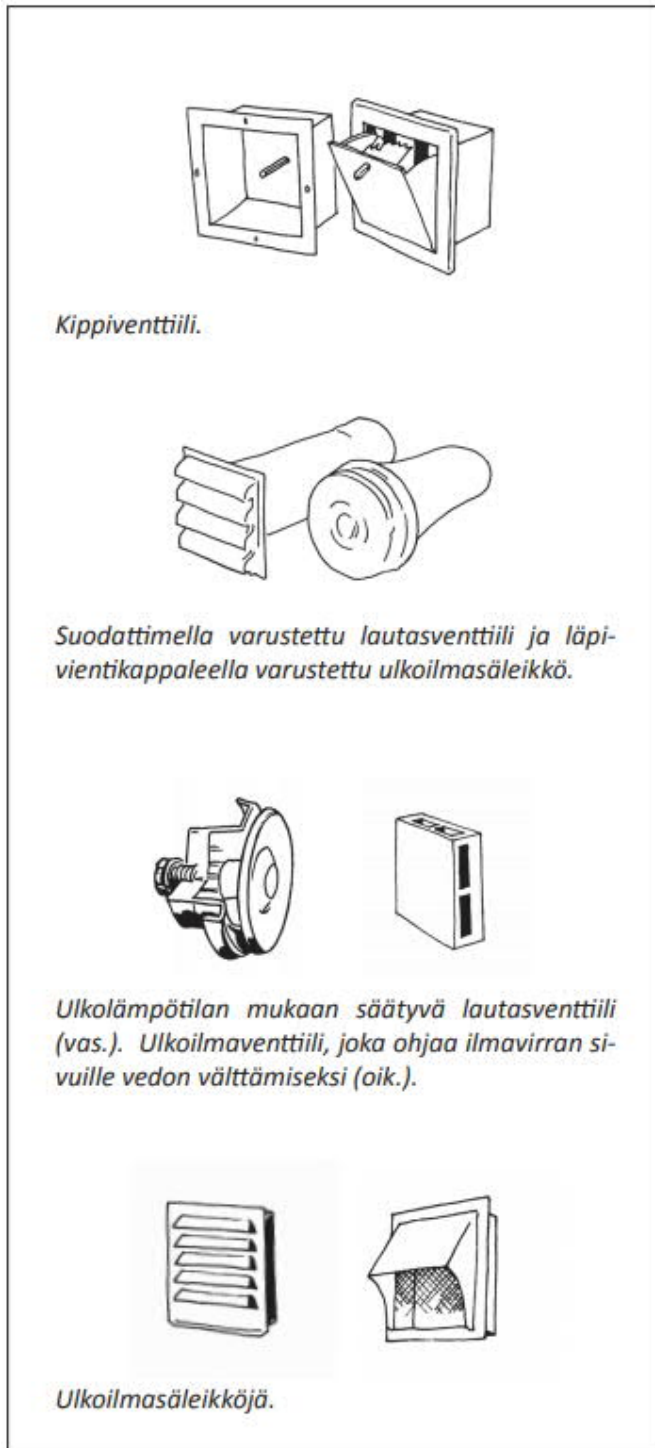
Ulkoilmalaitteet on valittava siten, että ne aiheuttavat mahdollisimman pienen painehäviön mitoitusilmavirralla mitoitusulkolämpötilassa. Venttiilin pitää olla silloin täysin auki. Ulkoilmaventtiili pitää olla säädettävissä, jotta kylmemmällä ilmalla ilmanvirtaus ei kasva liian suureksi. Tuloilma huoneeseen voidaan toteuttaa myös kahdella venttiilillä, joista pienempää käytetään kylmemmällä ilmalla ja isompaa venttiiliä käytetään lämpimämmällä ilmalla. Kuvassa 8 on esitetty tuloilmaventtiilejä, jotka säätyvät automaattisesti lämpötilan vaikutuksesta. (3, s. 8.)



KUVA 8 Ulkoilmanlämpötilan mukaan säätävä Velcon korvausilmaventtiili (16)

Ulkoilmasäleikkönä voi olla esimerkiksi valettu ulkoilmasäleikkö verkolla, missä on suuri virtausala. Tällaisia ulkoilmasäleikköjä ovat esimerkiksi pyöreäsäleikkö USAV tai suorakulmainen säleikkö USVN. Ulkoilmalaitteenkanavan on oltava mahdollisimman lyhyt ja suora. Voidaan myös käyttää

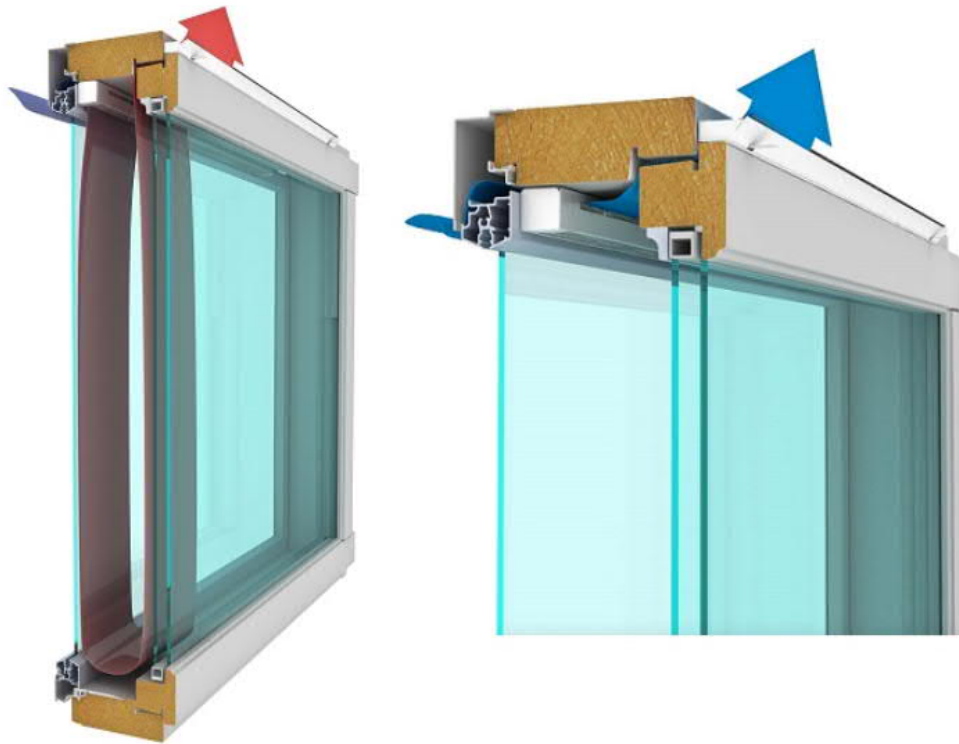
S-mallista ulkoilmakanavaa, missä ulkoilmasäleikkö on alempana kuin sisällä oleva tuloilmasäleikkö. Tällä estetään lumen ja sadeveden pääsy kanavaan ja parannetaan äänenvaimennusta. Ulkoilmaventtiilien pitää olla painovoimaiseen ilmanvaihtoon soveltuvia lautas- tai kippiventtiilejä. Kuvassa 9 on esitetty erilaisia painovoimaiseen ilmanvaihtoon soveltuvia ulkoilmalaitteita. (3, s. 8.)



KUVA 9. Esimerkkejä ulkoilmalaitteista (3, s. 10)

Jos tuloilmaventtiiliin lisätään suodatus, painehäviö kasvaa oleellisesti. Laitevalmistajilta on saatavissa valintataulukoita, joissa kerrotaan venttiilin ja mahdollisen suodattimen aiheuttamia painehäviöitä. (3, s. 8.)

Tuloilma voidaan tuoda huoneeseen myös tuloilmaikkunan kautta, kuten kuvassa 10 on esitetty. Tuloilmaikkunan yläaidassa on säädettävä rakoventtiili. Venttiiliin on mahdollista laittaa myös ilmansuodatin. Tuloilma lämpenee jonkin verran ikkunan välissä ennen sisäänpuhallusta. Rakoventtiilissä on suurempi painehäviö kuin pyöreissä venttiileissä, koska kapea ilmareitti aiheuttaa suuremman virtausvastuksen. Rakoventtiili ei välttämättä sovellu yksinään painovoimaiseen järjestelmään vaan voi tarvita avuksi poistoilmapuhaltimen. (17.)



KUVA 10. Rakoventtiilillä varustettu tuloilmaikkuna (17)

## 5.2 Siirto- ja poistoilmalaitteet

Painovoimaisessa ilmanvaihdoissa siirtoilmalaitteina käytetään ovirakoa ja siirtoilmasäleikköjä. Siirtoilmalaitteiden painehäviö pitää olla alle 0,5 Pa. Siirtoilmareittinä käytettävän oviraon täytyy olla vähintään 25 mm korkea. (3, s. 8.)

Poistoilmaventtiilinä käytetään painovoimaiselle ilmanvaihdolle suunniteltua lautasventtiiliä. Keittön poistoilmaventtiilinä voidaan käyttää keittiösäleikköä, jossa on metallinen säleikkö sulku- ja säätömahdollisuudella. Näitä on käytössä etenkin kerrostalojen keittiöissä, joissa on painovoimainen ilmanvaihto. Poistoventtiilinä voi olla myös ns. kippiventtiili. Venttiilien pitää olla suljettavissa, koska asetuksen 1009/217 mukaan ilmanvaihto pitää voida pysäyttää. Kuvissa 11 ja 12 on erilaisia painovoimaisen ilmanvaihdon poistoilmalaitteita. (18, s. 24.)



KUVA 11. Esimerkkejä poistoilmalaitteista (19)



KUVA 12. Pisla lautasventtiili (20)

### 5.3 Hormisto

Poistoilmahormien täytyy olla suuria ja väljiä, jotta ne eivät aiheuta suurta painehäviötä. Poistohormien kokoon vaikuttavat sisäaukon koko ja hormin materiaali. Hormissa saa olla sivuttaissiirtoa

korkeinaan 10 % hormin korkeudesta. Painovoimaisen ilmanvaihdon hormit vaativat enemmän tilaa kuin koneellisen ilmanvaihdon kanavat. Hormin materiaalina on käytetty perinteisesti muurattua tiilihormia, mutta se voidaan tehdä myös peltikanavalla, jos se lämpöeristetään. Poistoilmakanavassa voi ilmetä poistoilman kosteuden kondensoitumista kanavan seinämiin. Tämä pitää ottaa huomioon kanavan materiaalia valittaessa. Tiilihormi pystyy varastoimaan kosteutta, kun taas peltihormilla kosteus kondensoituu kanavan pinnalle. Mahdollinen kondenssiveden poisto pitää ottaa huomioon suunnittelussa. (18, s. 15.)

Poistohormien sijoittelussa noudatetaan kahta eri ratkaisua: siirtoilma- ja huonekohtainen ratkaisu. Siirtoilmaratkaisussa jokaiseen huoneeseen laitetaan tuloilmaventtiili ja poistoilmaventtiilit sijoitetaan kosteisiin tiloihin ja varastoihin. Ilma kulkeutuu ovirakojen ja siirtoilmareittien kautta puhtaimista tiloista likaisimpiin tiloihin. (3, s. 6.) Huonekohtaisessa tulo- ja poistoilmaratkaisussa jokaiseen huoneeseen sijoitetaan tulo- ja poistoilmaventtiili. Tällöin jokainen huone tarvitsee oman poistoilmahormin vesikatolle asti. (3, s. 6.)

Yleensä poistohormit sijoitetaan rakennuksen rungon keskelle väliseinien kohdalle. Huoneet sijoitetaan poistohormien ympärille. Vesikatolla hormit sijoitetaan mahdollisimman lähelle harjaa tai katon korkeinta kohtaa. Näin saadaan poistohormi mahdollisimman korkeaksi ja käyttövoima mahdollisimman suureksi. Poistohormin korkeuden olisi hyvä olla vähintään 4,5 metriä. (3, s. 6.)

#### 5.4 Vedonparantajat

Poistohormin päähän on mahdollista laittaa tuulen voimalla toimiva tuuliroottori eli hormi-imuri. Se tehostaa hormivaikutusta valmistajan mukaan 20–30 %. Hormi-imuri ehkäisee myös ilman takaisinvirtausta hormissa. Hormi-imuri asennetaan yksittäisen hormin päähän tai kokoojalaatikon avulla hormiryhmän yläpäähän. Hormi-imurin tehostava vaikutus voi olla liian suuri talvella, joten se olisi hyvä olla säädettävissä tai pysäytettävissä kokonaan. (16.)

Tuuliohjain on tuulen mukaan kääntyvä hattu. Sillä pyritään lisäämään tuulen aikaansaamaa alipainetta hormin päässä. Tuuliohjain ehkäisee ilman takaisinvirtausta hormissa tuulen vaikutuksesta. Tuuliohjain suojaa myös hormia sateelta. Kuvassa 13 on näytetty erilaisia tuuliohjaimia ja vedonparantajia. (16.)





KUVA 13 Pete-vedonparantajia ja -tuuliohjaimia (21)

## 5.5 Säädettävyys

Ilmanvaihtoasetuksen mukaan asunnon ilmavirtoja on voitava ohjata kuormituksen tai ilmanlaadun mukaan. Ilmavirtojen ohjaus on suunniteltava niin, että niitä voi tehostaa vähintään 30 prosenttia suuremmaksi kuin käyttöajan ilmavirrat ovat. Ilmavirtoja voi pienentää enintään 60 prosenttia suunnitellun käyttöajan ilmavirroista. Ilmanvaihtojärjestelmän toiminta on oltava pysäytettävissä. Painovoimaisessa järjestelmässä venttiilit pitää olla helposti suljettavissa. Asetuksen mukaan ilmanvaihtojärjestelmän ilmavirrat pitää mitata ja säätää ennen rakennuksen käyttöönottoa. (10, s. 4, 9.)

Painovoimaisessa ilmanvaihdossa tehostaminen voidaan tehdä esimerkiksi ikkunatuuletuksella tai puhaltimen avulla. Jos ilmanvaihtoa tehostetaan puhaltimen avulla, täytyy ulkoilmavirran tulla hallitusti huoneeseen, jotta ei tapahdu takaisinvirtausta poistoilmakanavissa tai savuhormissa. (22, s. 1.)

Painovoimanen ilmanvaihto -oppaassa olevat mitoitusaulukot on tehty ulkolämpötilalla +10 °C ja sisälämpötilalla +21 °C. Mitoitusulkolämpötila vaikuttaa merkittävästi hormimitoitukseen ja ilmanvaihtojärjestelmän säädettävyys. Mitoitusulkolämpötilalla +10 °C saavutetaan riittävät ilmavirrat myös lämpimällä säällä ja järjestelmä on vielä säädettävissä kylmällä säällä.

Suunnitelmissa pitää määrittää tulo- ja poistoilmaventtiilien asennot eri ulkoilman lämpötiloille ja vuodenajoille. Jos tuulen aiheuttama paine-ero on otettu huomioon mitoituksessa, pitää sen vaikutus venttiilien asentoon myös ilmetä suunnitelmista. Painovoimainen ilmanvaihto -oppaan taulukoissa ei ole otettu huomioon tuulen vaikutusta. (3, s. 7.)

Rakennusvalvonnat ovat laatineet yhdessä alan toimijoiden kanssa yhteisiä rakennusalan Topten-käytäntöjä. Ne ovat laatineet ohjekortin myös painovoimaisesta ilmanvaihdosta 117c 02. Ohjekortin mukaan ilmanvaihtosuunnitelmassa pitää esittää ilmavirrat sekä ulkoilma- ja poistoilmalaitteiden säätöasennot eri vuodenaikoina ja eri ulkolämpötiloissa, joita ovat paikkakunnan koko vuoden ja heinäkuun keskilämpötila sekä +10 °C lämpötila. (22, s. 1.)

## 5.6 Ilman suodatus

Ilmanvaihtosuunnittelijan on suunniteltava ilmansuodatuksen taso ulkoilman laadun ja sisäilman laadulle asetettujen tavoitteiden perusteella. Suunnittelijan on otettava huomioon järjestelmän soveltuvuus tarvittavaan suodatuksen tasoon. (10, s. 3.)

Ulkoilmanlaatu Suomessa on pääasiassa hyvä. Kaupunkien keskustoissa ja vilkkaasti liikennöityjen teiden varsissa hengitysilmanlaatu voi huonota merkittävästi. Ilmanlaatu paranee nopeasti tiestä etäännyttäessä ja on taustan tasolla jo 200–300 metrin etäisyydellä vilkkaasti liikennöidyistä kaduista. (3, s. 6.)

Pienhiukkaset ovat merkittävä ilmanlaatua heikentävä tekijä ja terveysriski raja-arvojen ylittyessä pitkällä aikavälillä. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet on jaettu kolmeen luokkaan: PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> ja PM<sub>1</sub>. Asumisterveysasetuksessa 545/2015 19. §:ssä on annettu hiukkasmaisten epäpuhtauksien raja-arvot sisäilmassa 24 tunnin mittausjakson aikana seuraavasti:

- Hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) pitoisuus sisäilmassa 24 tunnin mittauksen aikana saa olla enintään 50 µg/m<sup>3</sup>.
- Pienhiukkasten (PM<sub>2,5</sub>) pitoisuus sisäilmassa 24 tunnin mittauksen aikana saa olla enintään 25 µg/m<sup>3</sup>. (23 §19).

Ulkoilmanlaatu jaetaan kolmeen luokkaan sen sisältämien pienhiukkaspitoisuuksien mukaan. Ulkoilmaluokkia ovat ODA1, ODA2 ja ODA3. Lisätietoja ulkoilman luokituksesta on standardissa EN

ISO 16890. Suomessa ilmanlaatu kuuluu luokkaan ODA1 lukuun ottamatta kaupunkien keskustoja ja vilkkaasti liikennöityjen teiden vaikutuspiirissä olevia alueita. (24, s.11.)

Tuloilmaluokat on jaettu viiteen luokkaan niiden sisältämien pienhiukkaspitoisuuden mukaan. Luokat ovat SUP1, SUP2, SUP3, SUP4 ja SUP5. Tuloilmaluokkien pienhiukkaspitoisuuksien raja-arvot on myös esitetty standardissa EN ISO 16890. (24, s. 12.)

Kuvassa 14 on Ilmanlaatu maankäytön suunnittelussa, Uudenmaan ELY-keskus, Opas 2–2015 julkaisussa määritetyt asuinrakennusten ja herkkien kohteiden minimi- ja suositusetaisyydet kaduista ja teistä. Herkillä kohteilla oppaassa tarkoitetaan päiväkoteja, leikkipuistoja, alakouluja, iäkkäiden asuin- ja hoitolaitoksia sekä sairaaloita. (25, s. 21.)

Ajoneuvoa	Asuinrakennukset / metriä		Herkkä kohde / metriä	
arki-vrk	minimietäisyys	suositusetäisyys	minimietäisyys	suositusetäisyys
5 000		10	10	20
10 000	7	20	20	40
20 000	14	40	40	80
30 000	21	60	60	120
40 000	28	80	80	160
50 000	35	100	100	200
60 000	42	120	120	200
70 000	49	140	140	200
80 000	56	150	150	200
90 000	63	150	150	200
100 000	70	150	150	200

KUVA 14. HSY:n ilmanlaatuviyöhykkeet ja altistuminen liikenteen päästöille liikennemäärän ja etäisyyden suhteen eri kohteissa (25, s. 21)

Ilmanvaihtojärjestelmän tuloilman suodatus voidaan jättää pois rakennuksesta, jos rakennuspaikka täyttää herkkä kohteiden suositusetäisyyden katuun tai tiehen. Tällöin rakennuspaikka täyttää ulkoilmaluokan ODA1 ja tuloilmaluokan SUP4. Vaikka ilmanvaihto voidaankin suunnitella ilman suodatusta, kannattaa tuloilmaventtiileihin tehdä varaus tilapäisesti käytettävälle suodatukselle. Tuloilman tilapäiselle suodatukselle voi olla tarvetta esimerkiksi siitepölyaikana. (3, s. 6.)

## 5.7 Ääniolosuhteet

Rakennusten olennaisista teknisistä vaatimuksista säädetään maankäyttö- ja rakennuslaissa. Meluntorjuntaa ja ääniolosuhteita koskevaa vaatimusta on tarkennettu asetuksella Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017. Asetuksessa annetaan määräyksiä muun muassa asuinrakennuksiin (1. §). Asetuksen mukaan ulkovaipan ääneneristys on suunniteltava ja toteutettava siten, että ääneneristys on vähintään 30 desibeliä eikä impulssimaisen, kapeakaistaisen tai pienitaajuisen melun keskiäänitaso ylitä nukkumiseen tai lepoon käytettävissä huoneissa 25:tä desibeliä. (26, § 5.)

Painovoimaisen ilmanvaihdon tuloilmaventtiilien täytyy olla isompia kuin koneellisessa järjestelmässä. Tuloilmaventtiilien kautta kantautuva ympäristön melu voi olla häiritsevää. Tuloilmaventtiileihin on mahdollista laittaa äänenvaimennus, mutta niiden aiheuttama paine-ero voi nousta kesäaikana liian suureksi ja tuloilman virtaus pysähtyy. Painovoimaista ilmanvaihtoa ei kannata käyttää alueella, jossa on suuri liikennemelu. Kaavamääräyksissä voi olla vaatimus, että ulkoseinän ääneneristystaso pitää osoittaa laskemalla. Laskelmassa pitää huomioida myös tuloilma-aukot ulkoseinissä. (3, s. 2.)

Ympäristöministeriön 2003 julkaisemassa Ympäristöopas 108 Rakennuksen julkisivun ääneneristävyyden mitoittaminen- oppaassa on kerrottu, miten rakennuksen julkisivun ilmanääneneristysluku lasketaan rakennusosakohtaisesti. Pienet rakennusosat, esimerkiksi ulkoilmaventtiilit, valitaan siten, että niiden yksikköääneneristysluku liikennemelussa  $D_{n,e,A,tr}$  täyttää ehdon:

$$D_{n,e,A,tr} \geq R_{tr,vaad} + 5 \text{ dB}$$

Missä:

$D_{n,e,A,tr}$  = pienen rakennusosan yksikköääneneristysluku

$R_{tr,vaad}$  = julkisivun yhteisääneneristävyyden vaatimus

Mitoitus lähtee siitä, että julkisivuun tulee vain yksi pieni rakennusosa noin 8 - 10 m<sup>2</sup> julkisivua kohden. Mikäli julkisivuun tulee useampia pieniä rakennusosia, korotetaan niiden ääneneristävyydsvaatimusta 2 dB. (27, s. 13.)

## 5.8 Kesäajan tilanne

Painonvoimaisen ilmanvaihdon oppaan mitoitus on laskettu sen mukaan, että huoneisiin tulee riittävä ulkoilmavirta ulkoilman lämpötilassa  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Lämpimämmällä ulkoilmalla ja tuulettomalla säällä paine-ero voi jäädä liian pieneksi, jotta huoneisiin saataisi riittävä ulkoilmavirta. Tällöin ilman vaihtuvuutta on avustettava tarkoitukseen sopivalla järjestelmällä. Ilman vaihtuvuutta on perinteisesti lisätty ikkunatuuletuksella. (3, s. 4.)

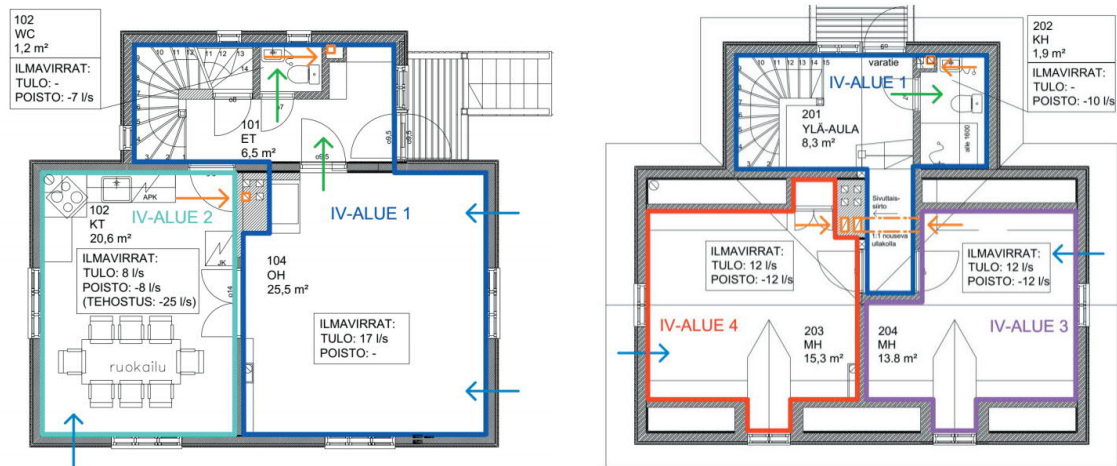
## 5.9 Suunnittelu ja mitoitus

Ennen ilmanvaihtosuunnittelun aloittamista on varmistettava, että rakennuspaikka soveltuu ilmanlaadun ja melun puolesta painovoimaiselle ilmanvaihdolle. Painovoimaisen ilmanvaihdon soveltuvuus suunnitellulle rakennuspaikalle kannattaa varmistaa myös paikallisesta rakennusvalvonnasta. (3, s. 3.)

Asunnon ulkoilmavirrat mitoitetaan siten, että seuraavat vähimmäisvaatimukset toteutuvat:

- koko asuinpinta-alaa kohden laskettu ulkoilmavirta on vähintään  $0,35\text{ dm}^3/\text{s}$ ,  $\text{m}^2$  (vastaa ilmanvaihtokerrointa  $0,5\text{ 1/h}$   $2,5\text{ m}$  huonekorkeudella)
- koko asunnon ulkoilmavirta on vähintään  $18\text{ dm}^3/\text{s}$
- jokaiseen asuinhuoneen ulkoilmavirta on vähintään  $0,35\text{ dm}^3/\text{s}$ ,  $\text{m}^2$
- jokaiseen asuinhuoneeseen on tuotava ulkoilmavirta vähintään  $8\text{ dm}^3/\text{s}$ , yli  $11\text{ m}^2$  makuuhuoneisiin  $12\text{ dm}^3/\text{s}$
- jos asunnossa on sauna, lisätään kokonaisilmavirtaan  $6\text{ dm}^3/\text{s}$  (28, s. 5.)

Suunnittelun aluksi valitaan, käytetäänkö siirtoilma- vai huonekohtaista tuloilmaratkaisua. Rakennuksen tilat jaetaan palvelualueisiin, kuten kuvassa 15 on tehty. Ilmanvaihdon palvelualue tarkoittaa sellaisia tiloja, joiden tulo- ja poistoilmavirrat ovat yhtä suuret. Palvelualueiden on oltava yhteisiä tilakokonaisuuksia, joissa palvelualueita rajaavat ovet ovat suljettuina normaalitilanteessa. Portaikko ei voi olla palvelualueen rajana. (3, s. 7.)



KUVA 15. Esimerkki rakennuksen jaosta palvelualueisiin (3, s. 7)

## 5.10 Mitoitustaulukot

Ilmanvaihdon mitoitus voidaan tehdä laskemalla laskentakaavojen 1–10 avulla. Mitoitus voidaan tehdä myös Painovoimainen ilmanvaihto -oppaan mitoitustaulukoiden avulla. Oppaassa kerrotaan, miten painovoimainen ilmanvaihto voidaan toteuttaa pienissä asuinrakennuksissa. Pienillä asuinrakennuksilla tarkoitetaan erillispientaloja, ketjutalon osana olevia rakennuksia, rivitaloja ja enintään kaksikerroksisia asuinkeuhkotaloja. (3, s. 1.)

Painovoimaisen ilmanvaihdon oppaaseen on laadittu taulukkomuotoiset mitoitusohjeet, jotka perustuvat samoihin kaavoihin. Mitoitustaulukot soveltuvat selkeitä erillisiä huonetiloja käsittävälle tavanomaisille asuinrakennuksille ja loma-asunnoille. Mitoitustaulukot on laadittu mitoitusulkolämpötilalle +10 °C ja mitoitussisälämpötilalle +21 °C. Mitoitus on tehty pelkästään hormivaikutukseen perustuen. Tuulen ilmanvaihtuvuutta lisäävää vaikutusta ei ole huomioitu. (3, s. 7.)

Laskentakaavoihin perustuva mitoitus ei riitä, jos suunniteltava rakennus on laaja ja sisältää eri kerroksia yhdistäviä tilakokonaisuuksia. Tällaisissa tapauksissa ilmanvaihdon sisäisiä virtauksia voidaan tarkastella virtaussimuloinnin avulla siihen suunniteltujen ohjelmien avulla. (3, s. 7.)

Taulukkomitoitusta käytettäessä tietyn ilmanvaihdon palvelualueen kaikkien ulkoilmasäleikköjen on oltava keskenään samassa korkeusasemassa. Ilmanvaihtoalueen läpi ulkoilmalaitteelta poistoilma-venttiilille virtaavan ilman virtausreitti saa kulkea enintään kahden siirtoilmalaitteen kautta. Ilmanvaihdon palvelualueen kaikkien poistoilmahormien ulospuhallusaukkojen on oltava keskenään samassa korkeusasemassa. Mitoitusulkoilmavirtojen jälkeen määritellään ulkoilmalaitteiden sekä

poistohormien ilmavirrat. Kussakin ilmanvaihdon palvelualueella tulevien ja poistuvien ilmavirtojen on oltava yhtä suuret, jotta ilmavirrat ovat tasapainossa. (3, s. 7.)

Tilan tai palvelualueen mitoitusilmavirtojen perusteella lasketaan kunkin poistohormin ilmavirta. Hormivaikutuksen korkeuseron, poistohormin materiaalin ja sisämitan perusteella taulukoista 5–8 luetaan suurin ilmamäärä, joka kyseiselle hormille voidaan mitoittaa. Jos poistohormin on poistettava suurempi ilmamäärä, pitää tilaan lisätä toinen poistohormi tai poistohormin kokoa täytyy kasvattaa. (3, s. 8.)

Poistohormien taulukkomitoitus on toimiva vain, jos järjestelmän painehäviö on riittävän alhainen mitoitusulkolämpötilassa. Silloin ulkoilmalaitte täytyy olla täysin auki. Ulkoilmalaitteen pitää olla säädettävissä, jotta ilmavirta ei kasva liian suureksi kylmällä säällä. Mitoitustaulukot on laadittu kolmelle painetasolle, 1,5 Pa, 2,5 Pa ja 3,5 Pa. Painetaso tarkoittaa ulkoilma- ja siirtoilmalaitteen sekä poistoventtiilin yhteenlaskettua painehäviötä. (3, s. 8–9.)

TAULUKKO 5. Suurin ilmavirta, joka voidaan mitoittaa poistoilmahormille, kun ulkoilma- ja siirtoilmalaitteen sekä poistoventtiilin yhteenlaskettu painehäviö on korkeintaan 1,5 Pa (painetaso 1) (3, s. 9)

Mitoituslämpötilat: ulkolämpötila +10 °C (sisälämpötila +21 °C)							
Hormissa voi olla 3 kappaletta suunnanmuutoksia, kulma on korkeintaan 90°; sivuttaissiirtoa korkeintaan 10 % hormivaikutuksen korkeuserosta.							
Hormivaikutuksen korkeusero vähintään Korkeusero ulkoilma-aukon keskikohdasta poistohormin ulospuhallusaukkoon oltava vähintään ilmoitettu metrimäärä, jotta rivin maksimi-ilmavirta toteutuu.		Muurattu tiilihormi			Kierresaumakanavahormi		
		koko kivi n. 15x29 cm	3/4 kiveä n. 15x22 cm	puoli kiveä n. 15x15 cm	Ø 200 mm	Ø 160 mm	Ø 125 mm
Seloste	metriä	max. dm <sup>3</sup> /s	max. dm <sup>3</sup> /s	max. dm <sup>3</sup> /s	max. dm <sup>3</sup> /s	max. dm <sup>3</sup> /s	max. dm <sup>3</sup> /s
Ylimmän kerroksen hormit, yleensä	4	12	9	6	9	6	3
Toiseksi ylimmän kerroksen hormit, yleensä	7	28	20	13	21	13	8
Kolmanneksi ylimmän kerroksen hormit, yleensä	10	36	26	17	27	17	10

TAULUKKO 6. Suurin ilmavirta, joka voidaan mitoittaa poistoilmahormille, kun ulkoilma- ja siirtoilmalaitteen sekä poistoventtiilin yhteenlaskettu painehäviö on korkeintaan 2,5 Pa (painetaso 2) (3, s. 9)

Mitoituslämpötilat: ulkolämpötila +10 °C (sisälämpötila +21 °C)							
Hormissa voi olla 3 kappaletta suunnanmuutoksia, kulma on korkeintaan 90°; sivuttaissiirtoa korkeintaan 10 % hormivaikutuksen korkeuserosta.							
Hormivaikutuksen korkeusero vähintään Korkeusero ulkoilma-aukon keskikohdasta poistohormin ulospuhallusaukkoon oltava vähintään ilmoitettu metrimäärä, jotta rivin maksimi-ilmavirta toteutuu.		Muurattu tiilihormi			Kierresaumakanavahormi		
		koko kivi n. 15x29 cm	3/4 kiveä n. 15x22 cm	puoli kiveä n. 15x15 cm	Ø 200 mm	Ø 160 mm	Ø 125 mm
Seloste	metriä	max. dm <sup>3</sup> /s	max. dm <sup>3</sup> /s	max. dm <sup>3</sup> /s	max. dm <sup>3</sup> /s	max. dm <sup>3</sup> /s	max. dm <sup>3</sup> /s
Ylimmän kerroksen hormit, yleensä	4	-	-	-	-	-	-
Toiseksi ylimmän kerroksen hormit, yleensä	7	17	12	8	13	8	5
Kolmanneksi ylimmän kerroksen hormit, yleensä	10	29	21	14	23	14	8



TAULUKKO 7. Suurin ilmavirta, joka voidaan mitoittaa poistoilmahormille, kun ulkoilma- ja siirtoilmalaitteen sekä poistoventtiilin yhteenlaskettu painehäviö on korkeintaan 3,5 Pa (painetaso 3). (3, s. 9.)

Mitoituslämpötilat: ulkolämpötila +10 °C (sisälämpötila +21 °C) Hormissa voi olla 3 kappaletta suunnanmuutoksia, kulma on korkeintaan 90°; sivuttaissiirtoa korkeintaan 10 % hormivaikutuksen korkeuserosta.							
Hormivaikutuksen korkeusero vähintään Korkeusero ulkoilma-aukon keskikohdasta poistohormin ulospuhallusaukkoon oltava vähintään ilmoitettu metrimäärä, jotta rivin maksimi-ilmavirta toteutuu.		Muurattu tiilihormi			Kierresaumakanavahormi		
		koko kivi n. 15x29 cm	3/4 kiveä n. 15x22 cm	puoli kiveä n. 15x15 cm	Ø 200 mm	Ø 160 mm	Ø 125 mm
Seloste	metriä	max. dm <sup>3</sup> /s	max. dm <sup>3</sup> /s	max. dm <sup>3</sup> /s	max. dm <sup>3</sup> /s	max. dm <sup>3</sup> /s	max. dm <sup>3</sup> /s
Ylimmän kerroksen hormit, yleensä	4	-	-	-	-	-	-
Toiseksi ylimmän kerroksen hormit, yleensä	7	-	-	-	-	-	-
Kolmanneksi ylimmän kerroksen hormit, yleensä	10	20	15	9	16	9	5

Siirtoilmalaitteiden painehäviöt pitää olla alle 0,5 Pa. Ilmanvirtausreitillä saa olla enintään kaksi siirtoilmalaitetta. Siirtoilmalaitteita ovat esimerkiksi siirtoilmasäleikkö ja ovirako. (3, s. 8.)

Mitoitusilmamäärä pienenee merkittävästi, jos ulkoilmalaitteeseen lisätään suodatus. Karkeasuodatusta käytettäessä ulkoilmalaitteesta saatava ilmamäärä on noin ½ ja hienosuodatusta käytettäessä noin ¼ taulukossa 8 ilmoitetuista ilmamääristä. Suodatusta suunniteltaessa kannattaa käyttää laitevalmistajan ilmoittamia painehäviöitä. (3, s. 8.)

TAULUKKO 8. Ulkoilmalaitteen säleikön, kanavan ja venttiilin koko voidaan valita mitoitusilmamäärän mukaan alla olevan taulukon avulla (vihreä, keltainen tai oranssi tausta painetasoa vastavasti). (3, s. 9.)

Käytettävä samaa painetasovalintaa (1, 2 tai 3) ilmanvaihdon palvelualueen poistoilmahormien ja ulkoilmalaitteiden mitoituksessa.  Sarakkeissa on merkitty pyöreän kanavan halkaisija (Ø XX mm) tai rakoventtiilin mitat (RXX x 12 mm) sekä ulkoilmalaitteen virtausala (cm <sup>2</sup> ). Neliömäisellä kanavalla voidaan käyttää vastaavan virtausalan pyöreän kanavan arvoa.		Suurin ilmavirta, joka voidaan mitoittaa eri kokoisille ulkoilmalaitteille.				
		Ø 160 mm ~200 cm <sup>2</sup> max. - dm <sup>3</sup> /s	Ø 125 mm ~125 cm <sup>2</sup> max. - dm <sup>3</sup> /s	Ø 100 mm ~80 cm <sup>2</sup> max. - dm <sup>3</sup> /s	R600 x 12 ~70 cm <sup>2</sup> max. - dm <sup>3</sup> /s	R300 x 12 ~36 cm <sup>2</sup> max. - dm <sup>3</sup> /s
<b>Painetaso 1</b>	Siirtoilmalaitteen kautta	8	5	3	1	0,5
painehäviö ≤ 1,5 Pa	Ilman siirtoilmalaitteita	10	6	4	2	1
<b>Painetaso 2</b>	Siirtoilmalaitteen kautta	10	7	4	2	1
painehäviö ≤ 2,5 Pa	Ilman siirtoilmalaitteita	12	8	5	2	1
<b>Painetaso 3</b>	Siirtoilmalaitteen kautta	12	8	5	3	1,5
painehäviö ≤ 3,5 Pa	Ilman siirtoilmalaitteita	12	8	5	3	1,5

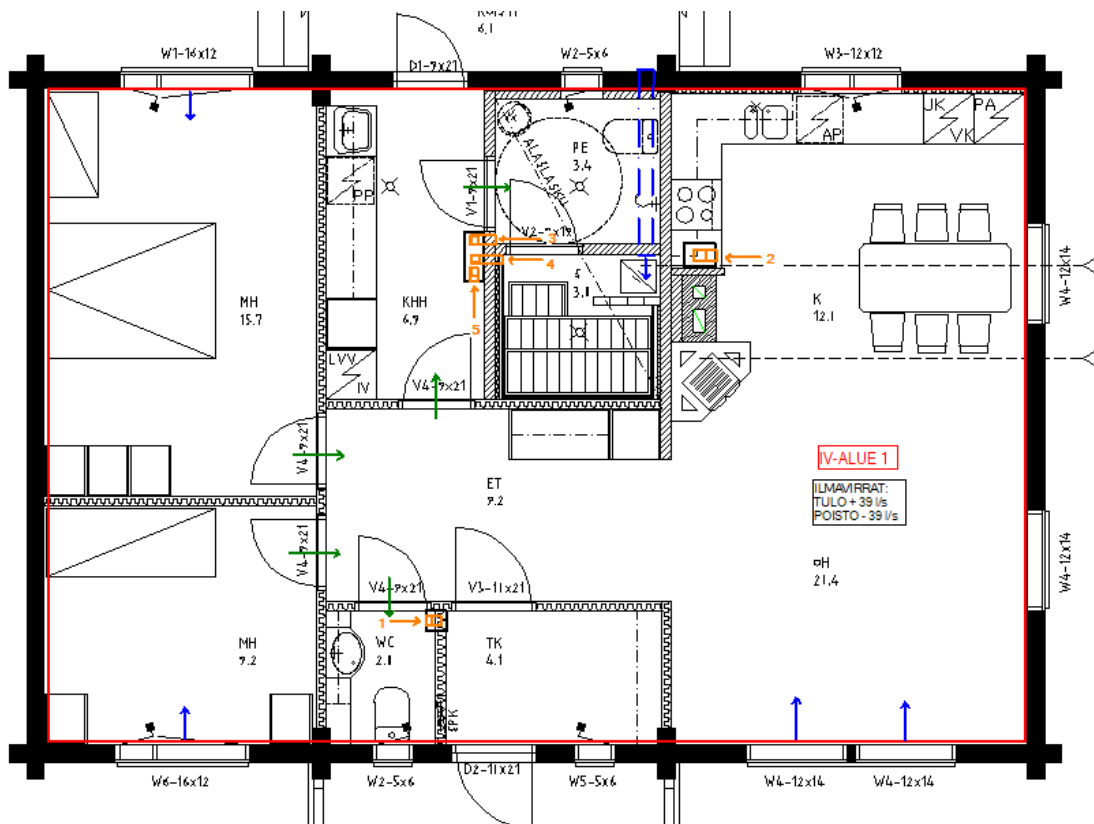


## 6 ESIMERKKIKOHDE

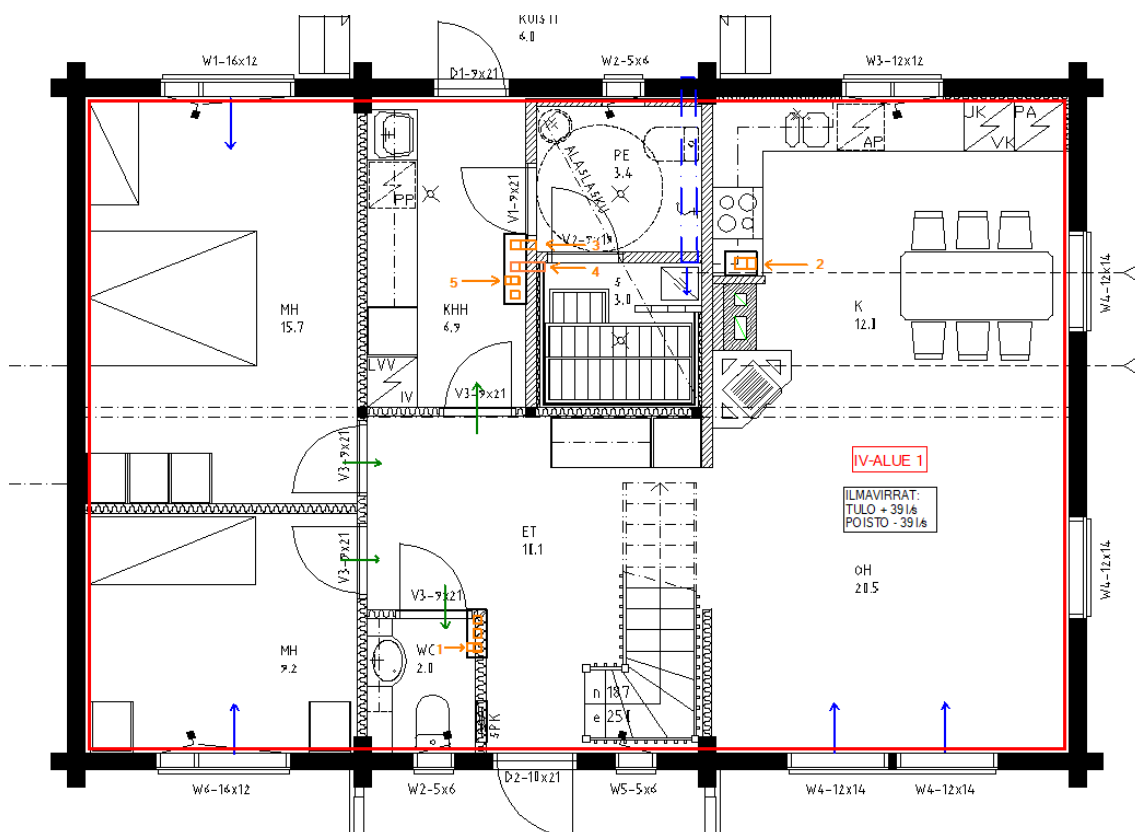
Opinnäytetyössä käytettiin esimerkkinä kahta Kontiotuotteen vakiotalomallia. Toinen on yksikerroksinen ja toinen puolitoistakerroksinen talo. Mallit ovat Koskela F 1 krs ja Koskela F 1 ½ krs. Alakerta on molemmissa taloissa samanlainen. IDA ICE -mallinnuksella pyrittiin selvittämään, riittääkö painovoimaisen ilmanvaihdon hormivaikutus tuottamaan riittävät ilmavirrat mitoitusulkolämpötilassa.

### 6.1 Järjestelmämitoitus

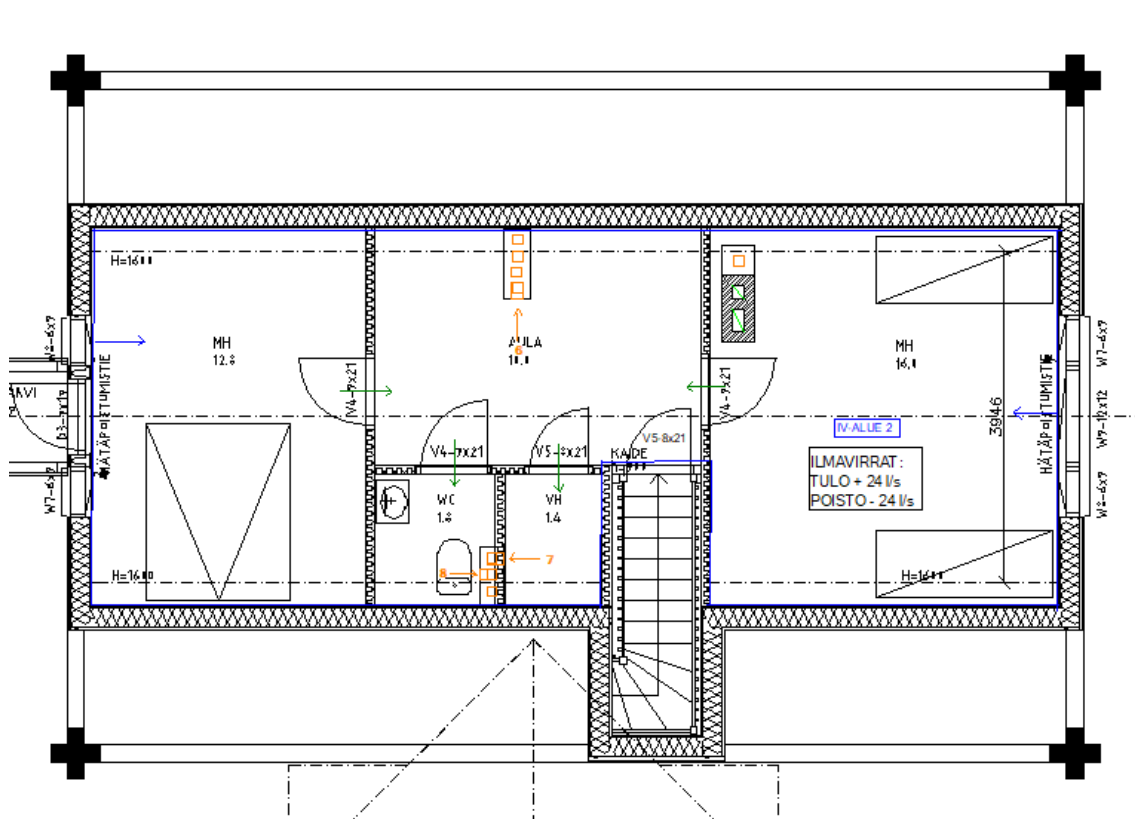
Mitoitusperusteena käytettiin PVIV-oppaan mitoituslämpötiloja: ulkolämpötilana +10 °C ja sisälämpötilana +21 °C ja ilman kosteutena 20 %. Alakerran hormien pituus on 4,5 m ja yläkerran hormien pituus on 2,5 m. Hormimateriaaliksi valittiin muurattu tiilihormi. Talot jaettiin palvelualueisiin kuvien 16–18 mukaisesti. Ilmavirrat olivat alakerrassa 39 l/s ja yläkerrassa 24 l/s.



KUVA 16. Koskela F 1 krs IV-palvelualueet (1)



KUVA 17. Koskela F 1,5 krs alakerran IV-palvelualueet (1)



KUVA 18. Koskela F 1,5 krs yläkerran IV-palvelualueet (1)

Huoneisiin laskettiin ulkoilmavirrat asetuksen 1009/2017 pohjalta. Suunnittelun apuna käytettiin Finvacin opasta Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen. Ilmanjako toteutettiin siirtoilmaratkaisuna siten, että jokaisessa asuinhuoneessa on tuloilmaventtiilit ja poistoilmaventtiilit ja hormit sijaitsevat peseytymis-, varasto-, keittiö- ja wc-tiloissa, jonne ilma virtaa ovirakojen kautta.

Palvelualueiden ja poistohormien ilmavirrat on esitetty taulukoissa 9–11. Käyttövoima laskettiin kaavalla 2, josta vähennettiin päätelaitteiden ja kaavalla 4 laskettu hormin painehäviö. Näin saatiin laskettua hormin käyttövoimapaine. Alakerrassa hormin käyttövoimapaineeksi saatiin noin 1,7 Pa ja yläkerrassa noin 0,03 Pa eli käytännössä 0 Pa. Tästä voi olettaa, että yläkerran ilmanvaihto ei toimi enää kunnolla + 10 °C:n ulkolämpötilalla. Päätelaitteiden ja siirtoilmalaitteiden aiheuttamaksi kokonaispainehäviöksi arvioitiin 1 Pa silloin, kun tulo- ja poistoilmaventtiilit olivat täysin auki.

TAULUKKO 9. Esimerkkitalon Koskela F 1 krs ilmavirrat ja hormin käyttövoimapaine

	Huoneisto- ala [m <sup>2</sup> ]	Ulkoilmavirta [dm <sup>3</sup> /s]	Poistoilmavirta [dm <sup>3</sup> /s]	Hormin nro	Hormin koko [cm]	Hormin pituus [m]	Käyttö- voimapaine [Pa]	Hormin painehäviö [Pa]	Päätelaitteiden painehäviö [Pa]	Hormin käyttö- voimapaine [Pa]
							(KAAVA 2)	(KAAVA 4)		
MH 15,7	15,7	12								
MH 9,2	9,2	8								
WC	2,0		7	1	15x22	4,5	2,82	0,08	1	1,74
TK	4,1									
OH + ET	29,6	13								
K	12,0		8	2	15x22	4,5	2,82	0,11	1	1,71
PE	3,4		10	3	15x29	4,5	2,82	0,09	1	1,73
S	3,0	6	6	4	15x15	4,5	2,82	0,15	1	1,67
KHH	6,9		8	5	15x22	4,5	2,82	0,11	1	1,71
	85,9	39	39							

TAULUKKO 10. Esimerkkitalon Koskela F 1,5 krs alakerran ilmavirrat ja hormin käyttövoimapaine

	Huoneisto- ala [m <sup>2</sup> ]	Ulkoilmavirta [dm <sup>3</sup> /s]	Poistoilmavirta [dm <sup>3</sup> /s]	Hormin nro	Hormin koko [cm]	Hormin pituus [m]	Käyttö- voimapaine [Pa]	Hormin painehäviö [Pa]	Päätelaitteiden painehäviö [Pa]	Hormin käyttö- voimapaine [Pa]
							(KAAVA 2)	(KAAVA 4)		
MH 15,7	15,7	12								
MH 9,2	9,2	8								
WC	2,0		7	1	15x22	4,5	2,82	0,08	1	1,74
OH + ET	30,6	13								
K	12,0		8	2	15x22	4,5	2,82	0,11	1	1,71
PE	3,4		10	3	15x29	4,5	2,82	0,09	1	1,73
S	3,0	6	6	4	15x15	4,5	2,82	0,15	1	1,67
KHH	6,9		8	5	15x22	4,5	2,82	0,11	1	1,71
	82,8	39	39							

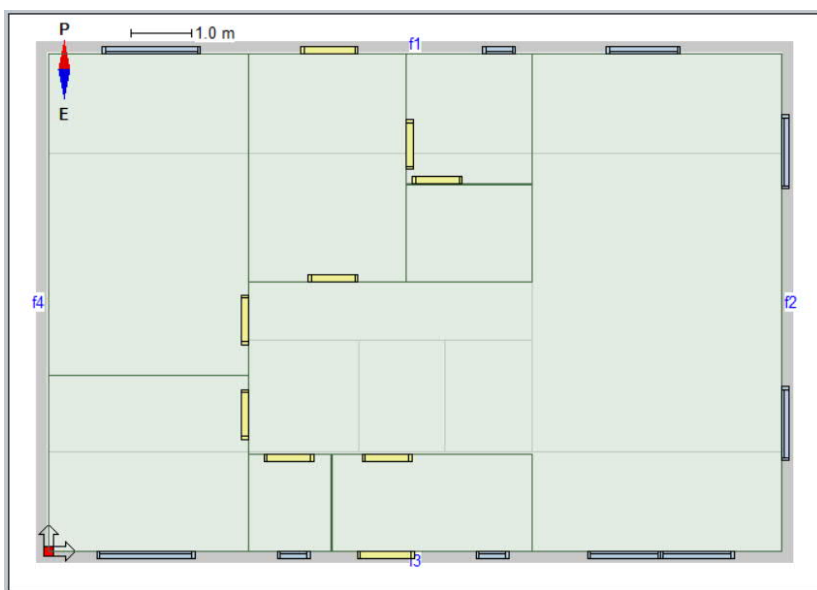
TAULUKKO 11. Esimerkkitalon Koskela F 1,5 krs yläkerran ilmapirrat ja hormin käyttövoimapaine

	Huoneisto ala [m <sup>2</sup> ]	Ulkolilmavirta dm <sup>3</sup> /s	Poistoilmavirta dm <sup>3</sup> /s	Hormin nro	Hormin koko cm	Hormin pituus m	Käyttö- voimapaine [Pa] (KAAVA 2)	Hormin painehäviö [Pa] (KAAVA 4)	Päätelaitteiden painehäviö [Pa]	Hormin käyttö- voimapaine [Pa]
MH 12,8	12,8	12								
AULA	10		11	6	15x29	2,5	1,14	0,08	1	0,06
MH 16,1	16	12								
VH	1,4		6	7	15x15	2,5	1,14	0,11	1	0,03
WC	1,8		7	8	15x22	2,5	1,14	0,06	1	0,08
	42	24	24							

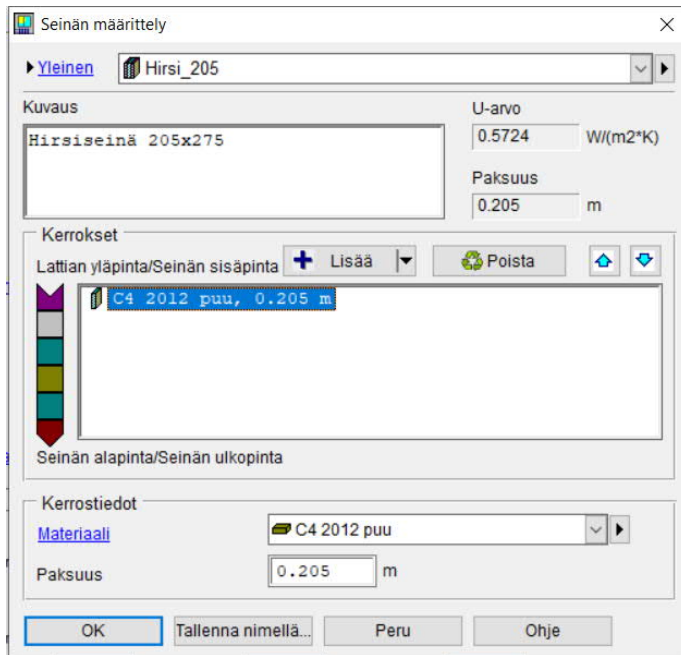
## 6.2 Mallinnus IDA ICE -ohjelmalla

IDA ICE on dynaaminen simulointiohjelmisto monivyöhykemallinnukseen. Ohjelmiston avulla voidaan tutkia rakennuksen energiankulutusta ja lämpötasetta. Ohjelmalla voidaan myös mallintaa painovoimaisen ilmanvaihdon toimivuutta. Mallinnukset perustuvat viimeisimpään tutkimustietoon ja ne ovat yhtäpitäviä mittausten kanssa. IDA ICEen on saatavilla suomenkieliset valikot ja Suomen säädätiedot. (29.)

Mallintamalla haluttiin tutkia esimerkkitalojen sisäilman hiilidioksidipitoisuutta ja ilmanvaihtuvuutta. Ensiksi ohjelmaan luotiin talon geometria, koska IFC-mallia ei ollut saatavilla. Joka huoneeseen luotiin oma vyöhyke ja asennettiin ikkunat ja välivet paikoilleen. Väliovien alareuna jätettiin 25 mm irti lattiasta siirtoilmareittiä varten. Alakerran vyöhykkeet ovat kuvassa 19. Sitten määriteltiin talojen rakenteet vastaamaan suunnitelmia. Rakenteiden määrittelysikkuna on kuvassa 20.

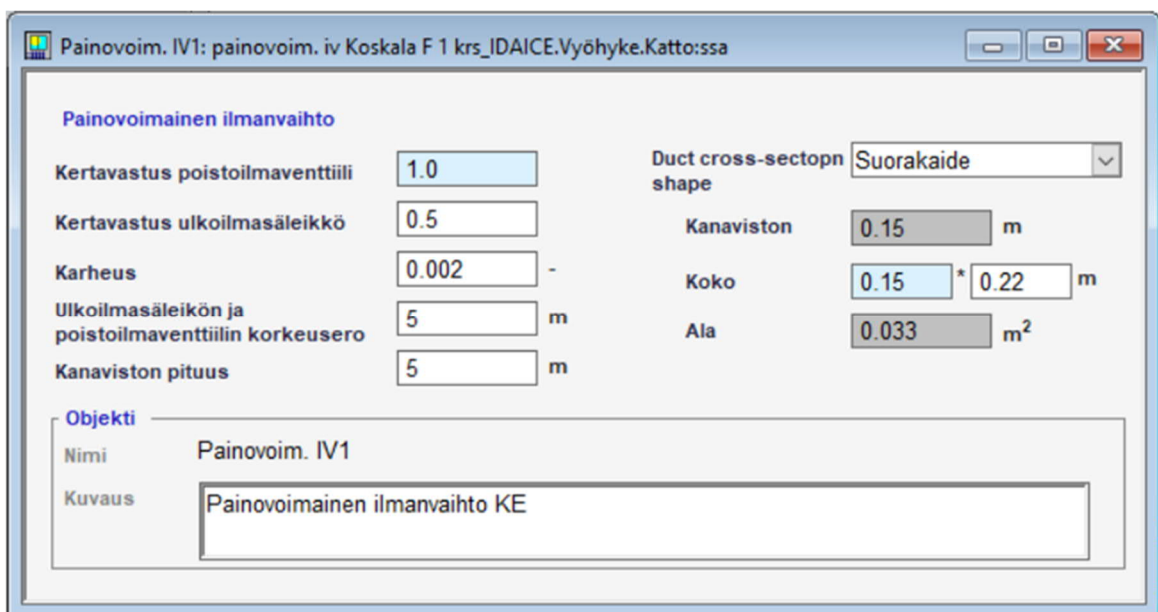


KUVA 19. Alakerran vyöhykkeiden määrittely IDA ICEen



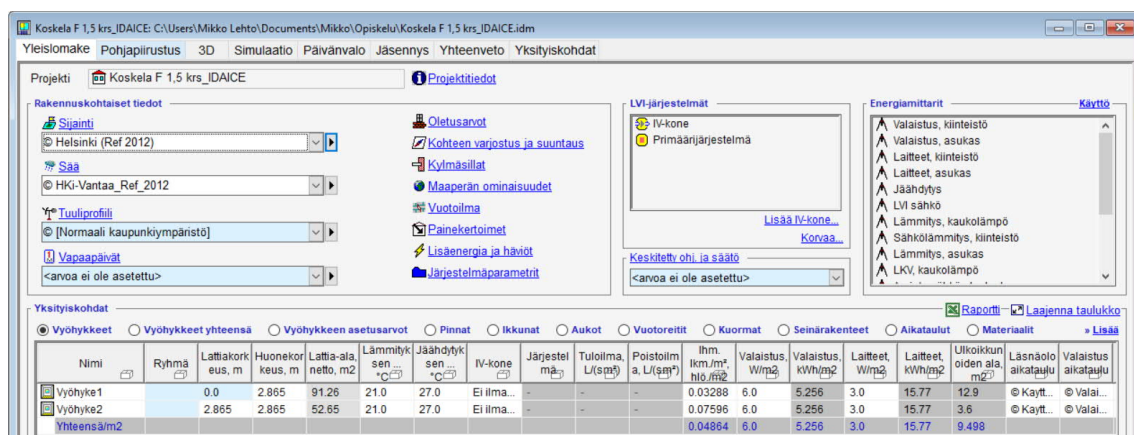
KUVA 20. Koskela F hirsiseinän määrittely IDA ICEen

Rakennuksen seinäpintoihin määriteltiin tuloilmaventtiilit kuvien 16–18 mukaisiin paikkoihin. Tuloilmavirratt asetettiin ohjelmaan taulukoiden 9–11 mukaan. Venttiilejä ei kuristettu, joten tuloksissa talvella virtaus oli suurempi kuin vaadittava ilmavirta. Tällä haluttiin selvittää, tuleeko tuloilmavirtaa myös kesällä tarpeeksi ja nouseeko hiilidioksidipitoisuus liian suureksi. Poistoilmahormien paikat määriteltiin rakennuksen geometrian seiniin. Kuvassa 21 on poistohormin määrittelyikkuna.



KUVA 21. Poistoilmahormin määrittely IDA ICEen

Perustietolomakkeessa kuvassa 22 määriteltiin kohteen sijainti ja säädädata. Mallinnus tehtiin ohjel-  
massa olevalla Helsingin säädätällä, koska E-luku lasketaan myös niillä. Makuuhuoneiden henki-  
löstökuormitus määritettiin oletettavan käytön mukaan. Alakerran pienempään makuuhuoneeseen  
määritettiin yksi henkilö välille klo 22–07 Muihin isompiin makuuhuoneisiin määritettiin kaksi henkilöä  
samalla aikataululla. Tällä pyrittiin selvittämään huoneiden CO<sub>2</sub>-pitoisuutta. Muissa tiloissa henki-  
löstökuormitus tehtiin Yma 2018 oletuksen mukaan 1hlö/43 m<sup>2</sup>. Tuulikertoimiksi mallinnukseen  
määritettiin suojaisen kohteen tuulikertoimet. Tuulikertoimien huomioon ottamisella kuvan 23 mu-  
kaan tulevat mahdolliset takaisinvirtaukset paremmin esille. Määritysten jälkeen käynnistettiin  
kohteen simulointi.



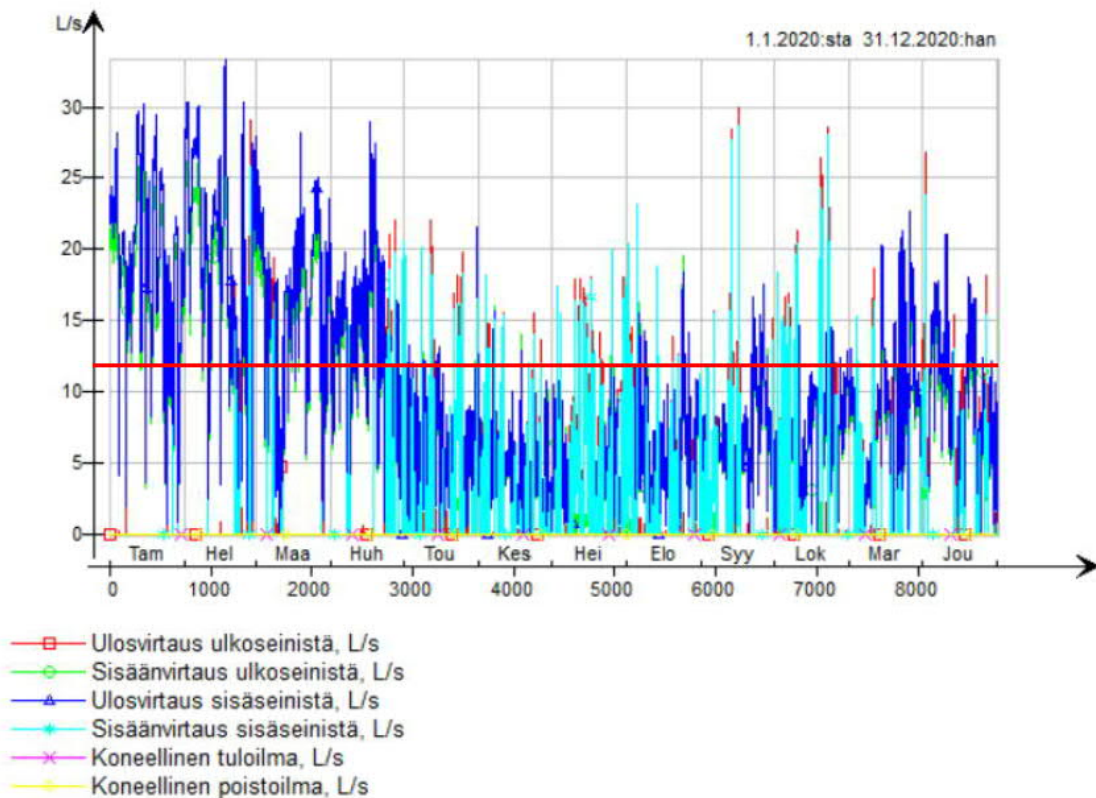
KUVA 22. Rakennuksen yleistietojen määrittäminen IDA ICEen

Julkisivu \ Kulma	0	45	90	135	180	225	270	315	Julkisivun...
<b>Building body</b>									
f1	0.06	-0.12	-0.2	-0.38	-0.3	-0.38	-0.2	-0.12	0.0
f2	0.06	-0.12	-0.2	-0.38	-0.3	-0.38	-0.2	-0.12	90.0
f3	0.06	-0.12	-0.2	-0.38	-0.3	-0.38	-0.2	-0.12	180.0
f4	0.06	-0.12	-0.2	-0.38	-0.3	-0.38	-0.2	-0.12	270.0
Crawl space	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Roof	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0
<b>Building body1</b>									
f1	0.06	-0.12	-0.2	-0.38	-0.3	-0.38	-0.2	-0.12	0.0
f2	0.2	0.05	-0.25	-0.3	-0.25	-0.3	-0.25	0.05	90.0
f3	0.06	-0.12	-0.2	-0.38	-0.3	-0.38	-0.2	-0.12	180.0
f4	0.2	0.05	-0.25	-0.3	-0.25	-0.3	-0.25	0.05	270.0
Crawl space	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Roof	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0

KUVA 23. Rakennuksen tuulikertoimien määrittäminen

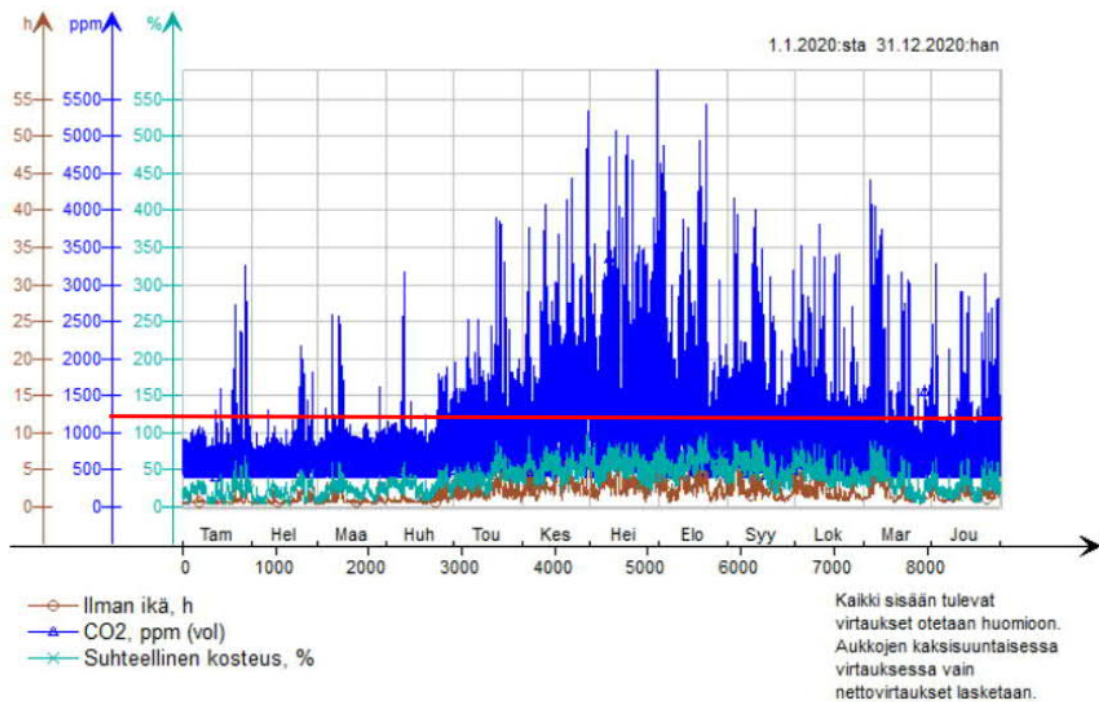
### 6.3 Simuloinnin tulokset

Alakerran makuuhuoneissa painovoimainen ilmanvaihto toimii simuloinnin mukaan marraskuusta toukokuuhun. Kesä–lokakuussa ilmanvaihto ei ole riittävä  $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ .  $\text{CO}_2$ -pitoisuus ylittää  $1200 \text{ ppm}$ :n rajan kesä–lokakuussa. Marras-joulukuussakin tulee satunnaisia  $1200 \text{ ppm}$ :n ylityksiä. Kuvissa 24–27 on esitetty alakerran  $16,8 \text{ m}^2$ :n makuuhuoneen ja olohuone-keittiövyöhykkeiden ilmanvirrat ja  $\text{CO}_2$ -pitoisuudet läpi vuoden. Esimerkiksi  $16,8 \text{ m}^2$ :n makuuhuoneen ilmavirta vaihteli vuoden sisällä välillä  $0,0\text{--}29,1 \text{ dm}^3/\text{s}$ , kun sen pitäisi olla  $12 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Hiilidioksidipitoisuus vaihteli välillä  $400\text{--}5893 \text{ ppm}$ . Suurin  $\text{CO}_2$ -pitoisuus oli elokuun alussa. Olohuoneessa ja keittiössä painovoimainen ilmanvaihto toimii läpi vuoden. Ilmavirta vaihteli välillä  $5,4\text{--}68,7 \text{ dm}^3/\text{s}$ .  $\text{CO}_2$ -pitoisuus vaihteli välillä  $432\text{--}844 \text{ ppm}$ .

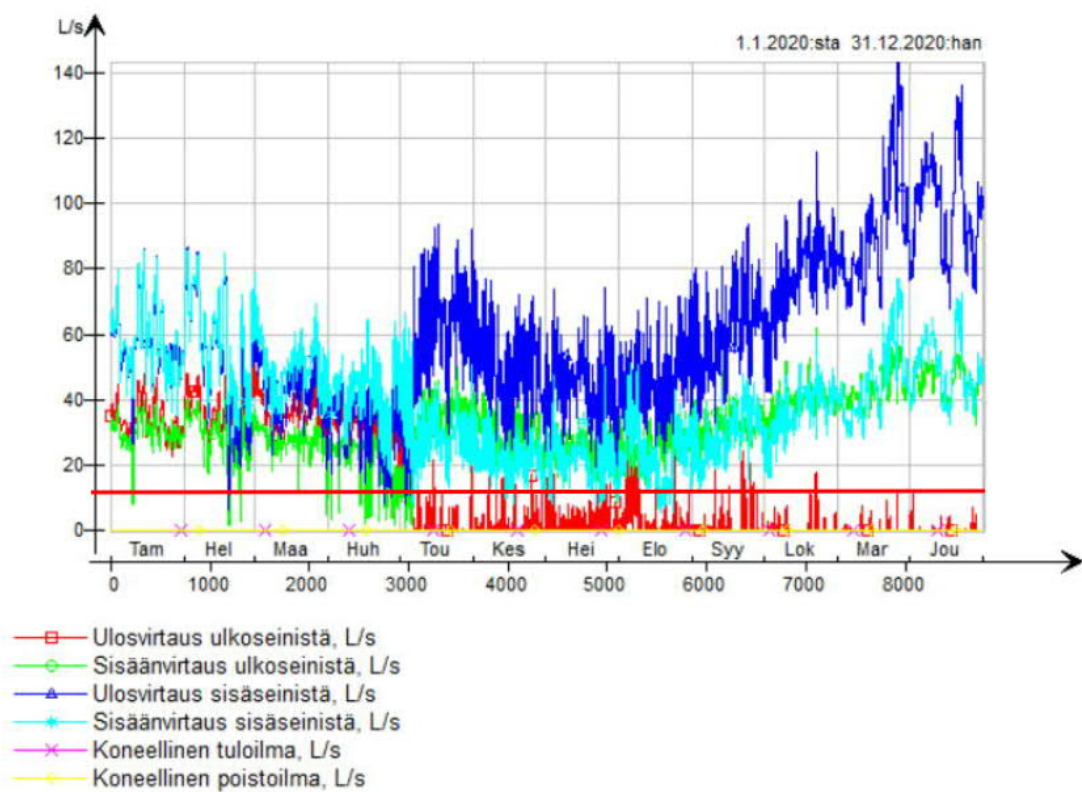


KUVA 24. Esimerkkitalon alakerran  $16,8 \text{ m}^2$  MH:een ilmavirrat l/s



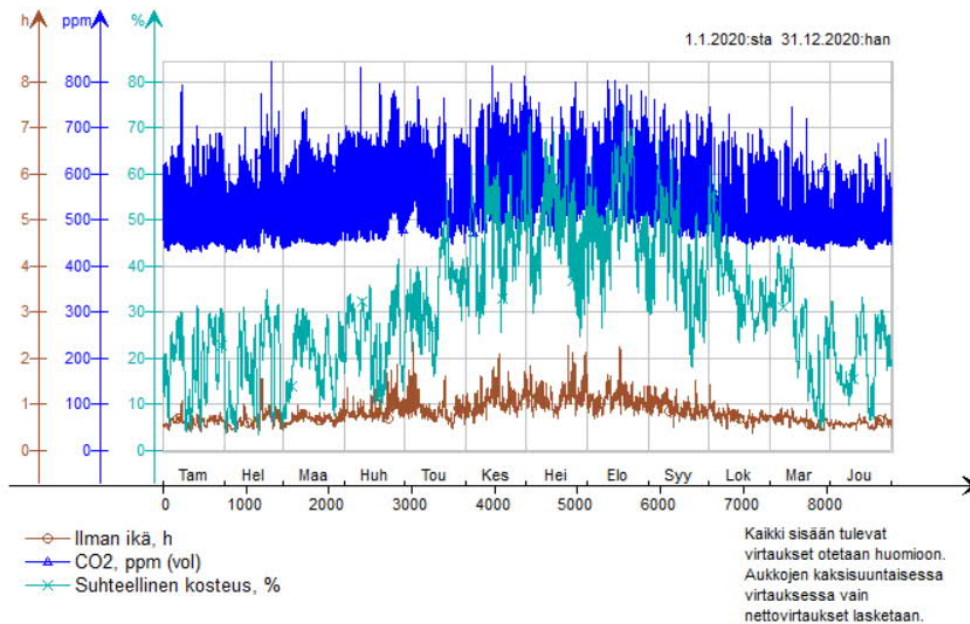


KUVA 25. Esimerkkitalon alakerran 16,8 m<sup>2</sup> MH:een CO<sub>2</sub>-pitoisuus



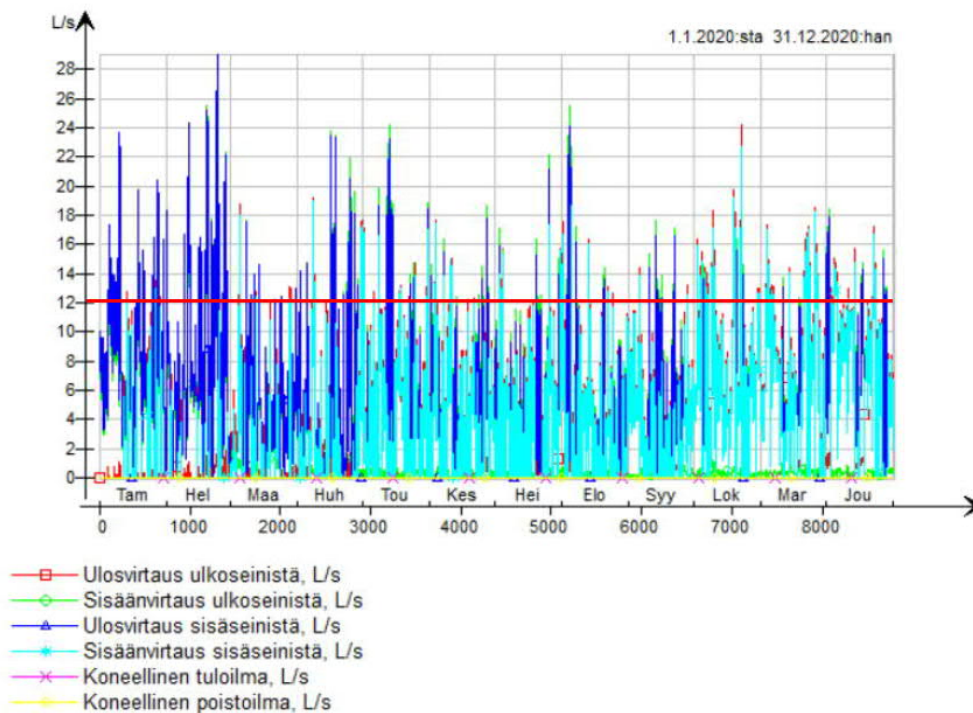
KUVA 26. Esimerkkitalon OH ja KE ilmavirrat l/s



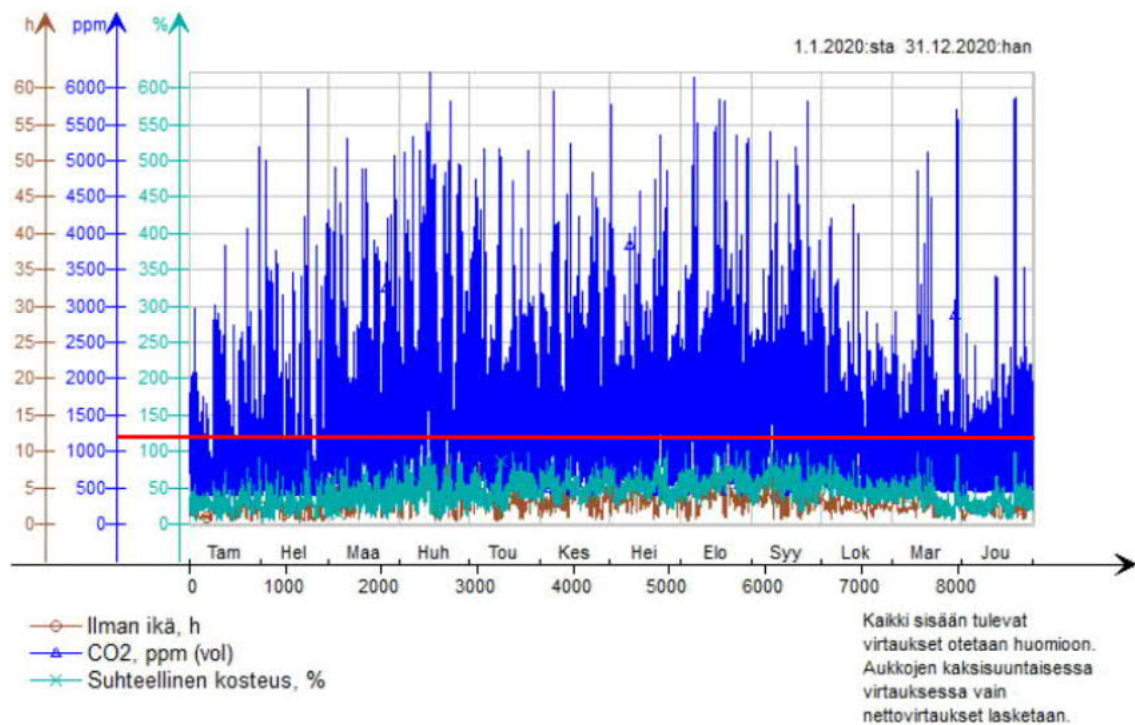


KUVA 27. Esimerkkitalon OH ja KE CO<sub>2</sub>-pitoisuus

Kuvassa 28 on yläkerran pienemmän makuuhuoneen ilmavirtaus, joka vaihteli välillä 0–28,6 l/s, joten ilmavirtojen perusteella ilmanvaihto olisi välillä riittävä. CO<sub>2</sub> -pitoisuus oli suurimman osan vuodesta liian suuri, kuten kuvasta 29 voi lukea. CO<sub>2</sub> -pitoisuus saisi olla 800 ppm suurempi kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus. Suomessa ulkoilman hiilidioksidipitoisuus on 400 – 450 ppm.



KUVA 28. Esimerkkitalon yläkerran 12,8 m<sup>2</sup> MH:een ilmavirrat l/s



KUVA 29. Esimerkkitalon yläkerran 12,8 m<sup>2</sup> MH:een CO<sub>2</sub>-pitoisuus

Simuloinnista voi päätellä, että yläkerran 2,5 m pitkät poistoilmahormit eivät ole riittävät painovoimaiselle ilmanvaihdon. Hormivaikutus ei ole tarpeeksi suuri vaihtamaan riittävästi ilmaa kesäaikana. Lisäksi ilmavirtaus kääntyi välillä väärään suuntaan. Tuloilmaventtiileistä virtasi ilmaa rakennuksen sisältä ulos. Simulointi tehtiin siirtoilmaratkaisuna. Painovoimainen ilmanvaihto voisi toimia paremmin, jos joka tilassa olisi oma tuloilmaventtiili ja poistohormi.

## 7 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli tutkia, miten hirsitalo voitaisiin toteuttaa painovoimaisella ilmanvaihdolla. Opinnäytetyö on sekä selvitystyö että suunnittelutyö. Työssä selvitettiin painovoimaisen ilmanvaihdon toimivuutta hirsitalossa PVIV-oppaan mitoituksen perusteella. IDA ICE -ohjelmalla selvitettiin painovoimaisen ilmanvaihdon toimivuutta myös kesäaikana.

Mallinnuksen pohjalta todettiin, että painovoimainen ilmanvaihto toimii lokakuusta toukokuuhun, kun poistohormin korkeus on vähintään 4,5 metriä. Kesällä sisä- ja ulkolämpötilaeron ollessa pieni painovoimainen ilmanvaihto ei toimi pelkällä hormivaikutuksella. Kesäaikana painovoimaista ilmanvaihtoa täytyy tehostaa esimerkiksi ikkunatuuletuksella tai hormi-imurilla. Yläkerran painovoimaisen ilmanvaihdon mallinnuksessa todettiin, että ilmanvaihto ei toimi kunnolla 2,5 metrin poistohormilla. Ilma vaihtui yläkerrassa riittävästi vain vuoden kylmimpinä kuukausina. Mitoitusulkolämpötilalla +10 °C painovoimainen ilmanvaihto toimii myös kesäaikana, kun poistohormin korkeus on yli 4,5 m.

Selvitystyön pohjalta laadittiin työn tilaajalle painovoimaisen ilmanvaihdon suunnitteluohjeet hirsitaloon. Ohjeet julkaistiin vain työn tilaajalle ja valvojalle. Hirsitalo voidaan toteuttaa painovoimaisella ilmanvaihdolla, kun rakennuspaikka täyttää tietyt vaatimukset. Hirsitalon painovoimaisen ilmanvaihdon suunnitteluun pätevät samat asiat kuin muihinkin pientaloihin. Vaikka painovoimaisen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton hyötysuhteen vaatimus on 0 %, täytyy painovoimaisesti ilmastoidun talon suurempi lämmitysenergiankulutus ottaa huomioon rakennuksen suunnittelussa käyttämällä lämmitysmuotoja, joilla on E-luvun laskennassa pieni energiamuodonkerroin.

## LÄHTEET

1. Kontiotuote Oy – KONTIO. 2020. Kontiotuote Oy. Saatavissa: <https://www.kontio.com/fi-FI/kontio-yrityksena/>. Hakupäivä 29.1.2020.
2. Seppänen, Olli 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Anjalankoski: SOLVER palvelut Oy.
3. Kuuluvainen, Leino – Lindberg, Ben-Roger – Lylykangas, Kimmo – Mikkola, Juulia – Sainio, Jukka – Vuolle, Mika 2018. Painovoimainen ilmanvaihto opas. Ympäristöministeriö – Suomen Kulttuurirahasto. Saatavissa: [https://www.ym.fi/fiFI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Terveellisyys](https://www.ym.fi/fiFI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Terveellisyys). Hakupäivä 4.2.2020.
4. Sainio, Jukka 2020. Lämpö, vesi ja ilmanvaihto 1950-luvun kouluissa. Saatavissa: <http://www.koulurakennus.fi/1950-luvun-koulu/talotekniikka>. Hakupäivä 19.2.2020.
5. Siikanen, Unto 2014. Rakennusfysiikka Perusteet ja sovellukset. Helsinki: Rakennustieto Oy.
6. Sandberg, Esa 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus, Ilmastointitekniikka osa 2. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
7. Kosteuslaskennat ja -muunnokset helposti ja nopeasti. 2020. Vaisala Oyj. Saatavissa: [https://www.vaisala.com/fi/lp/humidity-calculator?utm\\_campaign=VIM-EMEA-MULTI-HUM-Resendemail32020-Blog-How\\_to\\_control\\_humidity&utm\\_medium=email&utm\\_source=Eloqua&utm\\_content=VIM-EMEA-FI-HUM-Resendemail32020-Blog-How\\_to\\_control\\_humidity](https://www.vaisala.com/fi/lp/humidity-calculator?utm_campaign=VIM-EMEA-MULTI-HUM-Resendemail32020-Blog-How_to_control_humidity&utm_medium=email&utm_source=Eloqua&utm_content=VIM-EMEA-FI-HUM-Resendemail32020-Blog-How_to_control_humidity). Hakupäivä 16.4.2020.
8. Ylikunnari Jukka 2017. T630203 Virtaustekniikka 3 op. Opintojakson luennot syksyllä 2017. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
9. Holopainen Rauno 2017. T670103 Ilmastointitekniikka 1 4 op. Opintojakson luennot keväällä 2017. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
10. 1009/2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 2018 Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171009>. Hakupäivä 4.2.2020.
11. 1010/2017 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>. Hakupäivä 7.2.2020.
12. Vuolle, Mika 2020. TkL, Equa Oy. Puhelinkeskustelu 9.3.2020.
13. Energiatehokkuus. 2018. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki. Ympäristöministeriö, Rakennetun

- ympäristön osasto. Saatavissa: [https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus](https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus). Hakupäivä 26.3.2020.
14. Tasauslaskentaopas 2018. 2017. Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: [https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus](https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus). Hakupäivä 31.3.2020.
  15. Lämpöhäviöiden tasauslaskin 2018. Joulukuu 2017 xlsx. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: [https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus](https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus). Hakupäivä 31.3.2020.
  16. Ilmanvaihtotuotteet. Suomen terveystilma Oy. Saatavissa: <https://www.terveysilma.fi>. Hakupäivä 1.4.2020.
  17. Ilmanvaihtotuotteet. Dir-Air Oy. Saatavissa: <https://www.dir-air.fi/fi/tuotteet/termico/tuloilmaikkunaventtiilit-termico/>. Hakupäivä 1.4.2020.
  18. Ketola Jari 2014. Painovoimaisen ilmanvaihdon käyttö ja huolto, Vanhan rakennuksen kunnostusopas -sarja Nro 2. Tampere: Pirkanmaan rakennuskulttuuriyhdistys ry.
  19. Ilmanvaihtotuotteet. Domus Classica Oy. Saatavissa: <https://www.domusclassica.fi/tuotteet/eristeet-ja-ilmanvaihto/ilmanvaihtoverkko-ja-rappanat/313/>. Hakupäivä 2.4.2020.
  20. Ilmanvaihtotuotteet. Pislä Oy. Saatavissa: <https://www.pisla.fi/tuote/lautasventtiili-243-160-met/>. Hakupäivä 2.4.2020.
  21. Ilmanvaihtotuotteet. Lindfors Finland Oy. Saatavissa: <https://www.pete.fi>. Hakupäivä 3.4.2020.
  22. TOPTEN-rakennusvalvonnat 2018. Yhtenäiset käytännöt 117c 02. Saatavissa: [www.pksrava.fi](http://www.pksrava.fi). Hakupäivä 3.4.2020.
  23. 545/2015 Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545>. Hakupäivä 7.2.2020.
  24. EUROVENT 4/23 – 2018. Ilmansuodattimien EN ISO 16890-luokituksen mukaisen suodatinluokan valinta yleisilmanvaihdon sovelluksiin. Saatavissa: [https://www.talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/eurovent\\_rec\\_4-23\\_-\\_selection\\_of\\_en\\_iso\\_16890\\_rated\\_air\\_filter\\_classes\\_-\\_second\\_edition\\_-\\_2018\\_-\\_fi\\_-\\_web.pdf](https://www.talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/eurovent_rec_4-23_-_selection_of_en_iso_16890_rated_air_filter_classes_-_second_edition_-_2018_-_fi_-_web.pdf). Hakupäivä 3.4.2020.

25. Airola, Hannu – Myllynen, Maria 2015. Opas 2/2015 Ilmanlaadun maankäytön suunnittelussa. Helsinki. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.
26. 796/2017 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170796>. Hakupäivä 7.2.2020.
27. Rakennuksen julkisivun ääneneristävyyden mitoittaminen. 2003. Ympäristöopas 108. Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen\\_terveellisyys\\_ja\\_esteettomyys/Rakennuksen\\_terveellisyys/Rakennuksen\\_aaniolosuhteet](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen_terveellisyys_ja_esteettomyys/Rakennuksen_terveellisyys/Rakennuksen_aaniolosuhteet). Hakupäivä 8.4.2020.
28. Opas asuinrakennuksen ilmanvaihdon mitoittamiseen. 2019. IV-suunnittelun oppaat. FINVAC ry. Saatavissa: <https://www.finvac.org/iv-opaat>. Hakupäivä: 8.4.2020.
29. EQUA Simulation AB. Saatavissa: <https://www.equa.se/fi/>. Hakupäivä 26.4.2020.

**Rakennuspaikka ja rakennus**

- On varmistettu, että rakennuspaikan melutaso on hyväksyttävä painovoimaiselle järjestelmälle.
- Arkkitehtisuunnittelussa on huomioitu painovoimaisen ilmanvaihdon vaatimukset.
- On varmistettu, että rakennuspaikan ilma on riittävän puhdasta suodattamattomana tai että riittävä suodatus on mahdollista.
- Suunnittelussa on huomioitu rakennuspaikan ilmasto-olosuhteet tuuli mukaan lukien.

**Ilmanvaihdon mitoitus ja sisäilman laatu**

- Poistohormien ja ulkoilmalaitteiden määrät ja mitoitus virtausreitteineen on suunniteltu niin, että ilmamäärät ovat riittävät mitoituksilämpötilassa ja keskimääräisellä tuulen nopeudella.
- Avustus ja tehostus on järjestetty tiloittain niin, että niiden avulla voidaan aina saavuttaa määräysten mukainen ilmanvaihtuvuus.
- Virtausreitit on suunniteltu siten, että ilma virtaa puhtaammista tiloista epäpuhtaampiin päin.
- Tulisijojen ja erillispoistojen vaatima lisäulkoilmavirran saanti on huomioitu.

**Ilmanvaihdon säädettävyys ja ohjaus**

- Ilmanvaihtuventtiilit ovat käyttäjän helposti säädettävissä.
- Avustus- ja tehostusjärjestelmä ovat käyttäjän helposti säädettävissä.
- Ilmanvaihtuventtiilit ovat suljettavissa.

**Lämpötilaolosuhteet**

- Ulkoilman tuonti tiloihin on järjestetty siten, että siitä ei aiheudu haitallista vetoa oleskeluvyöhykkeellä.

**Ilmanvaihtokanavisto**

- Eri tilojen ja asuntojen poistoilmahormeja tai -kanavia ei ole yhdistetty.
- Painovoimaista ja koneellista ilmanvaihtoa ei ole yhdistetty niin, että ilmavirtojen suunnat voivat muuttua suunnitelluista.
- Poistohormit ja piiput on sijoitettu tarkoituksenmukaisesti ja suunniteltu huomioiden säärasitus.
- Ilmanvaihtokanavat ovat riittävän tiiviit.
- Kanavat ja venttiilit on suunniteltu niin, että kondenssia ei pääse muodostumaan haitallisesti.
- Kanavat ja muut virtausreitit on suunniteltu siten, että ne voidaan puhdistaa.

**Energiatehokkuus**

- Energiatehokkuusvaatimusten täyttyminen on varmistettu E-lukulaskelmalla.

**Käyttöönotto, käyttö ja huolto**

- Ilmanvaihtojärjestelmän käyttö- ja huolto-ohje on laadittu asukkaille suunnattuna huomioiden painovoimaisen järjestelmän erityispiirteet.
- Ilmanvaihtojärjestelmän ilmavirrat on mitattu ja säädetty ja ilmanvaihtojärjestelmä on saatettu toimimaan suunnitelman mukaisesti ennen rakennuksen käyttöönottoa.